



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
Ano 2017

**CATARINA MARIA
BRUÇÓ MARQUES
MENDES**

**ANÁLISE MECÂNICA DE ARGAMASSAS DE LIGANTE
ORGÂNICO**



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
Ano 2017

**CATARINA MARIA
BRUÇÓ MARQUES
MENDES**

ANÁLISE MECÂNICA DE ARGAMASSAS DE LIGANTE ORGÂNICO

Dissertação a apresentar à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Victor Miguel Carneiro de Sousa Ferreira, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, sob a co-orientação do Doutor Luís Miguel Cardoso da Silva, especialista na área das argamassas e Federal da empresa Saint-Gobain Weber Portugal.

À memória da minha avó Maria.

o júri

presidente

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Doutora Helena Maria da Costa Paiva
Bolseira de Pós-Doutoramento Ciceco – Universidade de Aveiro

Luís Miguel Cardoso da Silva
Especialista na área das argamassas e Diretor de I&D Internacional da empresa
Saint-Gobain Weber

agradecimentos

Ao professor Victor Ferreira, pela orientação, encaminhamento e disponibilidade prestada.

Ao Luís Silva um grande obrigado por ter sido incansável ao longo da dissertação, estando sempre prestável para as minhas dúvidas, por me ter aconselhado sempre pelo melhor, por todo o conhecimento transmitido, pelo incentivo e, sobretudo, pelo otimismo e entusiasmo demonstrado durante a realização desta dissertação.

À Doutora Ana Ribeiro, do Departamento de Cerâmica e Materiais a à Eng.^a Carla Silva do Departamento de Engenharia Mecânica pela disponibilidade e auxílio na realização de ensaios.

A toda a equipa do laboratório da Weber Saint-Gobain, obrigada pela disponibilidade, pelas sugestões transmitidas, pelo conhecimento partilhado e pelo apoio incansável. Agradeço ao Eduardo, Pedro Sequeira, Pedro Ferreira, Rui, António, D. Gloria e a todos os colegas estagiários. Um obrigada especial ao António Cardoso, por ser o meu fiel braço direito, por todo o apoio, dedicação e pelas palavras de incentivo. Ainda neste caminho, tive a sorte de me cruzar com a Rita, a Vera e o Hélder; que me apoiaram e acompanharam sempre. Obrigada por toda a simpatia, amizade e inspiração. Foram o melhor que esta etapa me deu.

Obrigada a Aveiro por todas as pessoas que conheci e por tudo o que me proporcionou. Ao Tiago e ao Bruno, os meus companheiros de sempre; ao Samuel, José Soares, Rodrigo e Gustavo, obrigada pela amizade e bons momentos partilhados. Às minhas meninas Regina, Sara, Rita e Marlene um obrigado por toda a amizade, pelos episódios vividos e por todos os sorrisos.

E por fim, mas sempre em primeiro, aos melhores pais e irmão do Mundo. Obrigada por todos os sacrifícios para tornarem este sonho realidade, por todo o apoio incondicional, por toda a compreensão e amor. A vocês devo tudo.

palavras-chave

Argamassas de colagem, argamassas de impermeabilização, ligantes, caracterização mecânica

resumo

A presente dissertação tem como propósito a análise mecânica das argamassas-cola e de impermeabilização cujo ligante é sobretudo de base orgânica.

A variedade de argamassas cola e de impermeabilização é substancialmente maior que a existente há uma década atrás. As características destes materiais são obtidas segundo técnicas experimentais distintas, mesmo tendo a mesma funcionalidade. Assiste-se a casos em que a mesma tipologia de material para uma mesma utilização, mas com diferentes metodologias experimentais, conduzem a exigências diferentes entre ambas.

Ao longo da seguinte dissertação, apresenta-se um estudo alargado sobre as propriedades mecânicas de várias argamassas que compreendem um leque alargado de opções no mercado ao nível do seu ligante, maioritariamente orgânico. Relativamente às argamassas-cola, realizaram-se ensaios de aderência por tração perpendicular, cisalhamento, deformação transversal, tração pura, dureza e impacto. Para as argamassas de impermeabilização, realizaram-se aderência por tração perpendicular, tração seguindo diferentes metodologias, torção e dureza.

Os resultados obtidos permitem obter correlações entre os diferentes ensaios mecânicos realizados, bem como uma discussão sobre o real desempenho dos materiais em estudo.

keywords

Addesive mortars, waterproofing mortars, organic binders, mechanical characterization

abstract

The present dissertation aims the mechanical analysis of mortars glue and waterproofing whose binder is mainly organic.

The variety of glue and waterproofing mortars is substantially larger than that of a decade ago. The characteristics of these materials are obtained according to different experimental techniques, even though they have the same functionality. There are cases in which the same typology of material for the same use, but with different experimental methodologies, lead to different requirements between the two.

A broad study on the mechanical properties of various mortars, comprising a wide range of options on the market at the level of their mainly organic agent, is presented along the following dissertation. Regarding the adhesive mortars, adhesion tests were carried out by perpendicular traction, shear adhesion, transversal deformation, pure traction, hardness and impact. For waterproofing mortars, adhesion was performed by perpendicular traction, traction following different methodologies, torsion and hardness.

The results obtained allow to obtain correlations between the different mechanical tests carried out, as well as a discussion about the real performance of the studied materials.

ÍNDICE.....	XV
ÍNDICE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE TABELAS	XXI
1. INTRODUÇÃO	3
1.1 ENQUADRAMENTO	3
1.2 OBJETIVOS PROPOSTOS	4
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2. ARGAMASSAS-COLA	9
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	9
2.2 TIPOS DE ARGAMASSAS-COLA.....	10
2.3 CARATERIZAÇÃO E PROPRIEDADES	11
2.4 ARGAMASSAS-COLA DE BASE ORGÂNICA	13
2.4.1 <i>Colas dispersão (D)</i>	16
2.4.2 <i>Colas de reação (R)</i>	17
2.5 CARATERIZAÇÃO DE MATERIAIS A NÍVEL MECÂNICO E ENQUADRAMENTO NORMATIVO ATUAL	17
3. ARGAMASSAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	25
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	25
3.2 TIPOS DE ARGAMASSAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	25
3.3 CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES.....	27
3.4 CARATERIZAÇÃO DE MATERIAIS A NÍVEL MECÂNICO E ENQUADRAMENTO NORMATIVO ATUAL	29
4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS.....	35
4.1 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO	35
4.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE	38
4.3 ENERGIA DE DEFORMAÇÃO.....	38
4.4 LIMITE DE RESISTÊNCIA	39
5. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	43
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	43
5.2 ARGAMASSAS-COLA.....	45
5.2.1 <i>Tração perpendicular uniaxial</i>	45
5.2.2 <i>Deformação transversal (Flexão)</i>	49

5.2.3	<i>Tração pura</i>	52
5.2.4	<i>Cisalhamento - Aderência ao corte</i>	55
5.2.5	<i>Dureza Shore D</i>	57
5.2.6	<i>Impacto – Ensaio de Charpy</i>	59
5.3	ARGAMASSAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	62
5.3.1	<i>Tração perpendicular uniaxial</i>	62
5.3.2	<i>Tração pura</i>	64
5.3.3	<i>Torção</i>	69
5.3.4	<i>Dureza de Shore</i>	71
6.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	73
6.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS-COLA.....	73
6.1.1	<i>Avaliação da tensão de aderência</i>	73
6.1.2	<i>Deformação transversal</i>	75
6.1.3	<i>Comportamento à Tração</i>	77
6.1.4	<i>Resistência ao Corte</i>	79
6.1.5	<i>Avaliação da Dureza</i>	80
6.1.6	<i>Resistência ao Impacto</i>	81
6.1.7	<i>Síntese de resultados</i>	83
6.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	84
6.2.1	<i>Avaliação da tensão de aderência</i>	84
6.2.2	<i>Comportamento à tração</i>	86
6.2.3	<i>Resistência à torção</i>	90
6.2.4	<i>Avaliação da Dureza</i>	99
6.2.5	<i>Síntese de resultados</i>	100
7.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA	107

ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPOSIÇÃO GENÉRICA DAS ARGAMASSAS-COLA.....	12
FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS	14
FIGURA 3 - ESQUEMA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE ARGAMASSAS (APFAC)	26
FIGURA 4 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO CONVENCIONAL E REAL PARA UM MATERIAL DÚCTIL	36
FIGURA 5 - PONTOS DE ESTUDO: TENSÃO-DEFORMAÇÃO.....	37
FIGURA 6 – A) MÓDULO DE RESILIÊNCIA; B) MÓDULO DE TENACIDADE	39
FIGURA 7 - LIMITE DE RESISTÊNCIA	40
FIGURA 8 -PROCESSO DE PREPARAÇÃO DE PLACAS: A) MATERIAL NECESSÁRIO; B) ESPALHAMENTO DA ARGAMASSA; C) APLICAÇÃO UNIFORME; D) APLICAÇÃO COM TALOCHA DENTADA; E) COLOCAÇÃO DAS PEÇAS CERÂMICAS; F) APLICAÇÃO DOS PESOS DE 20N	46
FIGURA 9 – ENSAIO DE ADERÊNCIA: A) MATERIAL NECESSÁRIO; B) EXECUÇÃO DA ADERÊNCIA; C) PLACA APÓS ENSAIO.....	48
FIGURA 10 - PADRÕES DE RUPTURA	48
FIGURA 11 - ESQUEMA DO ENSAIO DA DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL	49
FIGURA 12 - DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL: A) MATERIAL NECESSÁRIO; B) COLAGEM DE PELÍCULA DE POLIETILENO AO SUPORTE RÍGIDO; C) APLICAÇÃO DE ÓLEO DESCONFRAnte.....	49
FIGURA 13 – DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL: D) PREENCHIMENTO DOS MOLDES; E) APLICAÇÃO DAS 70 PANCADAS; F) REMOÇÃO DOS MONDES	50
FIGURA 14 - DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL: A) APLICAÇÃO DOS MOLDES; B) COLOCAÇÃO DOS PESOS; C) PROVETES;	50
FIGURA 15 - DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL: D) COLOCAÇÃO DOS PROVETES NO RECIPIENTE DE PLÁSTICO; E) COLAÇÃO DAS AMOSTRAS NA CAMARA DE CLIMATIZAÇÃO	51
FIGURA 16 - DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL: A) MEDIÇÃO DAS MASSAS; B) MEDIÇÃO DOS PROVETES; C) COLOCAÇÃO E AJUSTE DO PROVETE NA MÁQUINA, D) RUTURA DO PROVETE	51
FIGURA 17 - DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL: MEDIDAS DO PROVETE	52
FIGURA 18 - ESQUEMA DO ENSAIO DE TRAÇÃO PURA.....	53
FIGURA 19 - TRAÇÃO PURA: A) PREPARAÇÃO DA BASE; B) MOLDE PARA PROVETE.....	53
FIGURA 20 - ENSAIO DE TRAÇÃO: A) APLICAÇÃO DO PRODUTO; B) ESPALHAMENTO DE PRODUTO; C) DESMOLDE; D) PROVETE FINAL.....	54
FIGURA 21 - ENSAIO DE TRAÇÃO: A) PROVETE EM ENSAIO, B) PROVETE APÓS O ENSAIO	54
FIGURA 22 - ESQUEMA DO ENSAIO DE CORTE.....	55
FIGURA 23 - EXEMPLO DO GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO QUANDO UM MATERIAL DÚCTIL É SUBMETIDO AO CISALHAMENTO	56
FIGURA 24 - ENSAIO DE CORTE: A) COLAGEM DE FITA ADESIVA NOS LADRINHOS; B) APLICAÇÃO DO PRODUTO, C) PRODUTO APLICADO	56
FIGURA 25 - ENSAIO DE CORTE: A) JUNÇÃO DOS LADRILHOS; B) APLICAÇÃO DA CARGA; C) PROVETE FINAL.....	57
FIGURA 26 - ESQUEMA DE UM DURÔMETRO SHORE D.....	57

FIGURA 27 - ESQUEMA DO INDENTADOR DO DURÓMETRO	58
FIGURA 28 - EXEMPLO DO PROVETE PARA O ENSAIO DE DUREZA	58
FIGURA 29 – DUREZA DE SHORE: A) DURÓMETRO; B) ENSAIO DO PROVETE.....	59
FIGURA 30 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO PROVETE PARA O ENSAIO CHARPY – TIPO A	60
FIGURA 31 - ENSAIO DE CHARPY: A) MOLDE COM PROVETE MODELO, B) MOLDE FINAL; C) E D) PROVETE FINAL	60
FIGURA 32 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA PENDULAR DE IMPACTO CHARPY	61
FIGURA 33 - ENSAIO DE CHARPY: A) ENTALHO; B) PROVETE ANTES DO IMPACTO; C) MARTELO NA ALTURA INICIAL.....	61
FIGURA 34: SISTEMAS DE REFORÇO: A) REDE EM FIBRA DE VIDRO; B) GEOTEXTIL.....	62
FIGURA 35 - TRAÇÃO PERPENDICULAR: A) APLICAÇÃO DA PRIMEIRA CAMADA; B) APLICAÇÃO DA REDE; C) APLICAÇÃO DO GEOTÊXTIL	63
FIGURA 36 - TRAÇÃO PERPENDICULAR: APLICAÇÃO DA CAMADA FINAL	63
FIGURA 37 - MOLDE PARA OS ENSAIOS DE TRAÇÃO	64
FIGURA 38 - ENSAIO DE TRAÇÃO: A) APLICAÇÃO DO PRODUTO, B) ALISAMENTO DO PRODUTO, C) PRODUTO DEPOIS DE APLICADO	65
FIGURA 39 - PROVETE FINAL - ENSAIO TRAÇÃO PELO MÉTODO INTERNO	65
FIGURA 40 - ENSAIO DE TRAÇÃO: A) B) C) ENSAIO DOS PROVETES PELA NORMA INTERNA, D) VALORES DADOS PELA MÁQUINA DE ENSAIO	66
FIGURA 41 - MEDIDAS PARA PROVETE TIPO C DA ASTM D624	67
FIGURA 42 – TRAÇÃO PURA: A) DESENHO DOS PROVETES; B) C) PROVETES FINAIS ASTM D624	67
FIGURA 43 - ENSAIO DOS PROVETES TIPO C DA ASTM D624	68
FIGURA 44 - MEDIDAS PARA PROVETE TIPO CP DA ASTM D624	68
FIGURA 45 - PROVETE FINAL TIPO CP ASTM D624.....	68
FIGURA 46 - ENSAIO DOS PROVETES TIPO CP DA ASTM D624	69
FIGURA 47 - ENSAIO DE TORÇÃO: AMOSTRA COLOCADA NA MÁQUINA (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO).....	70
FIGURA 48 - PORMENOR DAS MAXILAS DE MONTAGEM DO PROVETE (AÇÕES DE TRAÇÃO E TORÇÃO REPRESENTADAS)	70
FIGURA 49 - ENSAIO DA DUREZA DE SHORE.....	71
FIGURA 50 - TENSÃO DE ADERÊNCIA AOS 7 DIAS, 7+21H ₂ O, A QUENTE E AO CALOR APÓS ARREFECIMENTO	73
FIGURA 51 - RUTURA APÓS IMERSÃO: CIMENTÍCIO, POLIURETANO MONOCOMPONENTE, EPÓXI E POLIURETANO BI- COMPONENTE RESPETIVAMENTE	74
FIGURA 52 - RUTURA APÓS CALOR: CIMENTÍCIO, POLIURETANO MONOCOMPONENTE, EPÓXI E POLIURETANO BI- COMPONENTE RESPETIVAMENTE	75
FIGURA 53- GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO PARA O ENSAIO DE DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL	76
FIGURA 54 - DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL POLIURETANO BI-COMPONENTE.....	77
FIGURA 55 - GRÁFICO DE TRAÇÃO DA ARGAMASSA CIMENTICIA	77
FIGURA 56 - GRÁFICO DE TRAÇÃO ARGAMASSA EPÓXI	78
FIGURA 57 - GRÁFICO DA ARGAMASSA POLIURETANO BI-COMPONENTE	78
FIGURA 58 - GRÁFICO DE TRAÇÃO PU-MONO	78

FIGURA 59 - TENSÕES MÁXIMAS DO ENSAIO DE TRAÇÃO	79
FIGURA 60 -MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS ARGAMASSAS-COLA.....	79
FIGURA 61 - GRÁFICO DO ENSAIO DE CORTE	80
FIGURA 62 - MÉDIAS DA DUREZA DE SHORE D.....	81
FIGURA 63 – ENSAIO DE IMPACTO: A) ARGAMASSA CIMENTÍCIA, B) ARGAMASSA DE EPÓXI, C) ARGAMASSA BI-COMPONENTE	82
FIGURA 64 – TENSÕES DE ADERÊNCIAS DAS MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	84
FIGURA 65 - RUTURA DAS MEMBRANAS: A) PADRÃO, B) REDE, C) GEOTÊXTIL	86
FIGURA 66 - TRAÇÃO MEMBRANA CIMENTÍCIA: METODOLOGIA INTERNA E ASTM (TYPE C E CP)	86
FIGURA 67 - TRAÇÃO MEMBRANA ACRÍLICO: METODOLOGIA INTERNA E ASTM (TYPE C E CP)	87
FIGURA 68 - TRAÇÃO MEMBRANA HÍBRIDO: METODOLOGIA INTERNA E ASTM (TYPE C E CP)	87
FIGURA 69 - TRAÇÃO MEMBRANA POLIURETANO: METODOLOGIA INTERNA E ASTM (TYPE C E CP)	87
FIGURA 70 - TRAÇÃO MEMBRANAS: MÓDULO DE ELASTICIDADE	88
FIGURA 71 – ENSAIO DE TRAÇÃO: MÓDULO DE RESILIÊNCIA E TENACIDADE.....	89
FIGURA 72 - TYPE C: MÓDULO DE RESILIÊNCIA E DE TENACIDADE	90
FIGURA 73 - TORÇÃO TELA POLIURETANO: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	90
FIGURA 74 – ENSAIO DE TORÇÃO: POLIURETANO S/ PRÉ-CORTE.....	91
FIGURA 75- TORÇÃO TELA SOLVENTE C/PRÉ CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	91
FIGURA 76 - ENSAIO DE TORÇÃO: POLIURETANO C/ PRÉ-CORTE.....	91
FIGURA 77 - TORÇÃO TELA POLIURETANO C/ REDE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO.....	92
FIGURA 78 - ENSAIO DE TORÇÃO: POLIURETANO C/ REDE	92
FIGURA 79 - TORÇÃO TELA SOLVENTE C/ REDE E PRÉ CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	92
FIGURA 80 - ENSAIO DE TORÇÃO: SOLVENTE C/ REDE E PRÉ-CORTE.....	92
FIGURA 81 - TORÇÃO TELA ACRÍLICO: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	93
FIGURA 82 - ENSAIO DE TORÇÃO: ACRÍLICO S/ PRÉ-CORTE.....	93
FIGURA 83 - TORÇÃO TELA ACRÍLICO C/ PRÉ CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO.....	93
FIGURA 84 - ENSAIO DE TORÇÃO: ACRÍLICO C/ PRÉ CORTE	93
FIGURA 85 - TORÇÃO TELA DE HÍBRIDO: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	94
FIGURA 86 - ENSAIO DE TORÇÃO: HÍBRIDO S/ PRÉ-CORTE	94
FIGURA 87 - TORÇÃO TELA DE HÍBRIDO C/ PRÉ-CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO.....	94
FIGURA 88 - ENSAIO DE TORÇÃO: HÍBRIDO C/ PRÉ-CORTE	95
FIGURA 89 - TORÇÃO TELA DE HÍBRIDO C/ REDE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO.....	95
FIGURA 90 - ENSAIO DE TORÇÃO: HÍBRIDO C/ REDE	95
FIGURA 91 - TORÇÃO TELA DE HÍBRIDO C/ REDE E PRÉ-CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	96
FIGURA 92 - ENSAIO DE TORÇÃO: HÍBRIDO C/ REDE E PRÉ-CORTE	96
FIGURA 93 - TORÇÃO TELA CIMENTÍCIA S/ PRÉ-CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	96
FIGURA 94 - ENSAIO DE TORÇÃO: CIMENTÍCIO S/ PRÉ-CORTE	96
FIGURA 95 - TORÇÃO TELA CIMENTÍCIA S/ PRÉ-CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	97

FIGURA 96 - ENSAIO DE TORÇÃO: CIMENTÍCIO C/ PRÉ-CORTE.....	97
FIGURA 97 - TORÇÃO TELA CIMENTÍCIA C/ REDE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO.....	97
FIGURA 98 - ENSAIO DE TORÇÃO: CIMENTÍCIO C/ REDE.....	97
FIGURA 99 - TORÇÃO TELA CIMENTÍCIA C/ REDE E PRÉ-CORTE: A) ANTES DO ENSAIO, B) EM ENSAIO, C) APÓS O ENSAIO	98
FIGURA 100 - ENSAIO DE TORÇÃO: CIMENTÍCIO C/ REDE E PRÉ-CORTE	98
FIGURA 101 - MOMENTO TORSOR MÁXIMO.....	98
FIGURA 102 – ÂNGULO DE TORÇÃO MÁXIMO	99
FIGURA 103 – MEDIDAS DA DUREZA DE SHORE A	99

ÍNDICE TABELAS

TABELA 1 - EVOLUÇÃO DAS ARGAMASSAS.	3
TABELA 2 - EXEMPLO CLASSIFICAÇÃO E DESIGNAÇÃO DE ARGAMASSAS-COLA (NP EN 12004:2008).	11
TABELA 3 - PRINCIPAIS MATERIAIS PLÁSTICOS (ESGALHADO & ROCHA, 2002)	15
TABELA 4- NORMAS RELACIONADAS COM AS ARGAMASSAS-COLA (APFAC).....	18
TABELA 5 - ESPECIFICAÇÕES PARA COLAS EM DISPERSÃO AQUOSA.	19
TABELA 6 - ESPECIFICAÇÕES PARA COLAS DE RESINAS DE REAÇÃO.	19
TABELA 7 - ESPECIFICAÇÕES SEGUNDO A ISO/TC 189/WG9 (PROPOSTAS DO GRUPO DE TRABALHO).	20
TABELA 8 - ENSAIOS MECÂNICOS - POLÍMEROS.	20
TABELA 9 - DESIGNAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS IMPERMEÁVEIS PARA APLICAÇÃO NA FORMA LÍQUIDA.	28
TABELA 10 - ESPECIFICAÇÕES SEGUNDO A NP EN 14891.	29
TABELA 11 - ESPECIFICAÇÕES SEGUNDO A EN 15814.	30
TABELA 12 - ENSAIOS MECÂNICOS REALIZADOS	44
TABELA 13 - TIPOS DE RUTURA SEGUNDO A EN12004.....	74
TABELA 14 – RESULTADOS OBTIDOS PELO ENSAIO DE DEFORMAÇÃO TRANSVERSAL.....	76
TABELA 15 - RESULTADOS DO ENSAIO AO CORTE	79
TABELA 16- RESULTADOS DO ENSAIO DE IMPACTO.....	82
TABELA 17 – RESUMO DOS RESULTADOS PARA AS ARGAMASSAS COLA	83
TABELA 18 - RUTURAS DAS MEMBRANAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	85
TABELA 19- RESUMO DOS RESULTADOS PARA AS ARGAMASSAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO	100

Capítulo 1

Introdução

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A humanidade tentou sempre adaptar-se ao meio em que vive, de forma a satisfazer as suas necessidades. A alteração e adequação dos materiais de construção remontam há cerca de 10.000 anos com o aparecimento das argamassas como resposta à necessidade emergente de encontrar um material que funcione como elo de ligação dos elementos construtivos (Alvarez, Martingança, & Costa, 2005).

Até aos dias de hoje, as argamassas sofreram várias alterações, evoluindo ao nível do seu desempenho técnico e da trabalhabilidade (Tabela 1), como resultado da descoberta de novas matérias-primas.

Época/Século	Constituição das Argamassas	Obras
6500AC	Lama e palha	Casa de adobe na Punjab
Romântica	Polozanas, pó de tijolo, cal hidratada e areias	Coliseu de Roma
XVIII	Pedra de calcário com argila	Farol de Eddytone
1824	Cimento Portland	Ponte de Sejães

Tabela 1 - Evolução das Argamassas.

Em 1824 registou-se a patente do cimento Portland que, até à data, é o ligante mais usado na construção seguindo-se, em meados do século XIX, as primeiras empresas de argamassas.

Em 1893 foi registada a primeira patente de produção de argamassas secas, embora ainda na década de 50, o cimento era enviado para as obras de forma separada dos agregados.

Com a evolução da indústria de construção, as exigências aumentaram, bem como a necessidade de cumprimento de prazos, o aumento da qualidade, da durabilidade do trabalho, da rapidez de execução e da redução da quantidade de desperdícios, levando à substituição de argamassas feitas em obra por argamassas industriais (Silva, 2008).

Segundo a APFAC (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção), uma argamassa é um produto que resulta da mistura de um agente ligante com uma carga de agregado. As suas características variam consoante os materiais utilizados para a sua obtenção, sendo possível através da utilização de adjuvantes ou aditivos conceder características que irão facilitar a sua aplicação, tais como o

retardamento ou aceleração de presa, o aumento da trabalhabilidade ou da adesão (Paulo, 2006).

De acordo com as condições de reabilitação de um edifício, deverão ser adotadas argamassas com as características mais adequadas, assegurando os requisitos de compatibilidade, isto é, há situações que exigem a utilização de argamassas mais ricas em ligantes orgânicos de modo a melhorar a sua capacidade a nível da aderência, resistência à flexão e deformabilidade, entre outras.

A variedade de argamassas cola e de impermeabilização é substancialmente maior que a existente há uma década atrás. Adotando, em específico, uma classificação segundo os ligantes constituintes destas argamassas, existem variadas opções que incluem desde os materiais com ligante predominantemente cimentícios, materiais mistos (ligantes de base cimento combinados com ligantes orgânicos) até materiais com ligante predominantemente orgânico. As caracterizações destes materiais são obtidas segundo técnicas experimentais distintas apesar da sua funcionalidade ser comum. Consequentemente, assiste-se a casos bizarros, nos quais a mesma tipologia de material para uma mesma utilização, mas com princípios diferentes ao nível da metodologia experimental, conduzem a exigências muito diferentes entre ambas (CEN,2007; CEN,2014; ASTM:2012; CEN,2008).

1.2 Objetivos propostos

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise mecânica de argamassas de ligante orgânico, neste caso, argamassas-cola e argamassas de impermeabilização.

Relativamente às argamassas-cola, pretende-se caracterizar ao nível mecânico, as diferentes opções com diferentes apresentações ao nível do ligante, sujeitas às mesmas metodologias experimentais (aderência por tração perpendicular, aderência por cisalhamento, deformação transversal, tração pura, dureza e impacto).

Para as argamassas de impermeabilização, pretende-se caracterizar ao nível mecânico as diferentes opções com diferentes apresentações ao nível do ligante, sujeitas às mesmas metodologias experimentais (aderência por tração perpendicular, tração, torção e dureza).

Os resultados obtidos permitirão conhecer as propriedades intrínsecas dos materiais e avaliar as várias opções de metodologias aplicáveis, mesmo quando se trata de materiais com a mesma funcionalidade.

1.3 Estrutura da dissertação

Com o propósito de se atingirem os objetivos mencionados, a presente dissertação está dividida conforme se descreve a seguir.

No primeiro capítulo é apresentada uma breve descrição e contextualização da dissertação, bem como a definição dos objetivos e estruturação do trabalho. Seguidamente,

no segundo capítulo é feita uma abordagem às argamassas de colagem, a sua história e tipologia, bem como a sua caracterização e enquadramento normativo.

O terceiro capítulo é dedicado às argamassas de impermeabilização, onde é feita uma abordagem sobre as suas características, propriedades enquadramento normativo.

Já no quarto capítulo é feita uma abordagem sobre as principais características mecânicas dos materiais, tais como diagrama de tensão-deformação, lei de Hooke e energia de deformação.

No quinto capítulo são apresentados os diferentes ensaios que irão decorrer ao longo desta

dissertação, onde se definem quais os ensaios a realizar bem como uma descrição dos mesmos. Também se descrevem todas as amostras utilizadas, tanto para as argamassas de colagem como de impermeabilização e explica-se como decorre cada ensaio.

No capítulo seis apresentam-se os resultados obtidos, onde é feita uma análise e discussão dos mesmos.

Por fim, no sétimo capítulo, são apresentadas as principais conclusões da dissertação e descritos os trabalhos a serem desenvolvidos futuramente que complementarão este estudo.

Capítulo 2

Argamassas-cola

2. Argamassas-cola

2.1 Considerações Iniciais

O aparecimento de cerâmicos como material de revestimento e de proteção é datado de 2700 A.C. no Egito. A sua influência foi sendo progressivamente mais importante, tendo um papel importante na cultura Islâmica, com o apogeu nos séculos XIX e XX.

A partir do século XIV, desenvolveu-se esta técnica na Península Ibérica, proveniente da civilização Árabe, em que estes materiais se designavam por *al Zulaicj*, termo conotado com as pedras semipreciosas de origem mesopotâmica conhecidas como “lápiz-azul”.

Em território nacional, esta técnica surge no final do século XV, através do rei de Portugal D. Manuel I após visita ao país vizinho (Freitas *et al.*, 2003).

Com a sua criatividade característica, os Portugueses desenvolveram e trouxeram esse legado até aos dias de hoje, levando estes materiais cerâmicos a níveis técnicos e estéticos que os tornaram insubstituíveis. Atualmente, surgem novos desafios relacionados com a aplicação de ladrilhos, devido às suas variadas dimensões e propriedades físicas e químicas (Pinho, 2012).

As argamassas para colagem de ladrilhos são designadas por argamassas-cola ou argamassas adesivas. Caracterizam-se pela sua espessura fina e formação de cordões.

Estas argamassas são produzidas industrialmente e fornecidas na forma de mistura pré-doseada em pó, variando a sua composição consoante o fabricante e tipo de argamassa (Almeida *et al.* 2006).

São utilizadas normalmente em camada fina, tendo por isso 2 tipos de aplicação:

- Colagem simples – espalhamento da cola apenas no tardo de cada peça a aplicar ou apenas no suporte com aplicação do material;
 - Colagem dupla – espalhamento da cola no tardo de cada peça e no suporte.
- (Freitas *et al.*, 2003)

2.2 Tipos de Argamassas-cola

Atualmente estão disponíveis argamassas-cola que apresentam propriedades específicas para cada aplicação, consoante o tipo de material a aplicar e do comportamento que se pretende obter do conjunto (Freitas *et al.*, 2003).

As argamassas cola dividem-se em 3 tipos, nomeadamente cimento-cola, adesivo em dispersão e cola reativa (CEN, 2014) onde:

- Cimento-cola (C): É um composto de ligantes hidráulicos com cargas minerais e adjuvantes orgânicos, usado na colagem de cerâmicos quer a nível interior como exterior. Deve-se apenas ter em conta, a mistura deste material com água ou um líquido de amassadura, imediatamente antes de ser utilizado.
- Adesivo em Dispersão (D): É um composto de ligantes orgânicos em forma de polímeros em dispersão, de adjuvantes orgânicos e de cargas minerais finas. Esta mistura está pronta a usar.
- Cola Reativa (R): É um composto de resinas sintéticas, cargas minerais finais e adjuvantes orgânicos, onde ocorre a presa por reação química. Podem apresentar-se na forma de um ou mais componentes.

A NP EN 12004, considera ainda as seguintes classes (CEN,2014):

- 1 - Cola normal
- 2 - Cola melhorada
- F - Cola de presa rápida
- T - Cola com deslizamento reduzido
- E - Cola com tempo aberto alongado
- S1 - Cola deformável
- S2 - Cola altamente deformável

A designação das argamassas-cola é feita com os símbolos C, D ou R, seguido da abreviatura da classe a que pertence a cola, conforme ilustra a Tabela 3.

Tabela 2 - Exemplo classificação e designação de argamassas-cola (NP EN 12004:2008).

Símbolo		DESCRIÇÃO
Tip o	Class e	
C	1	Cimentos-cola de presa normal
C	1E	Cimentos-cola de presa normal com tempo aberto prolongado
C	1F	Cimentos-cola de presa rápida
C	1FT	Cimentos-cola de presa rápida com deslizamento reduzido
C	2	Cimentos-cola melhorados
C	2E	Cimentos-cola melhorados com tempo aberto prolongado
C	2F	Cimentos-cola de presa rápida melhorados
C	2S1	Cimentos-cola deformáveis melhorados
C	2S2	Cimentos-cola altamente deformáveis melhorados
C	2FT	Cimentos-cola de presa rápida melhorados e com deslizamento reduzido
C	2FTS 1	Cimentos-cola de presa rápida deformáveis melhorados e com deslizamento reduzido
D	1	Colas em dispersão aquosa normal
D	1E	Colas em dispersão aquosa normal com tempo aberto prolongado
D	1T	Colas em dispersão aquosa normal com deslizamento reduzido
D	2	Colas em dispersão aquosa melhorada
D	2T	Colas em dispersão aquosa melhorada e com deslizamento reduzido
D	2TE	Colas em dispersão aquosa melhorada e com deslizamento reduzido e com tempo aberto alongado
R	1	Cola de resina de reação normal
R	1T	Cola de resina de reação normal com deslizamento reduzido
R	2	Cola de resina de reação melhorada
R	2T	Cola de resina de reação melhorada com deslizamento reduzido

2.3 Caracterização e Propriedades

Uma das diferenças entre as argamassas-cola e as argamassas tradicionais é a sua capacidade de retenção de água. Isto, permite que o material seja aplicado numa camada fina, sem perder a quantidade de água necessária à hidratação do cimento Portland (Martins, 2003).

A constituição das argamassas cola pode ser facilmente percebida através da Figura 1.

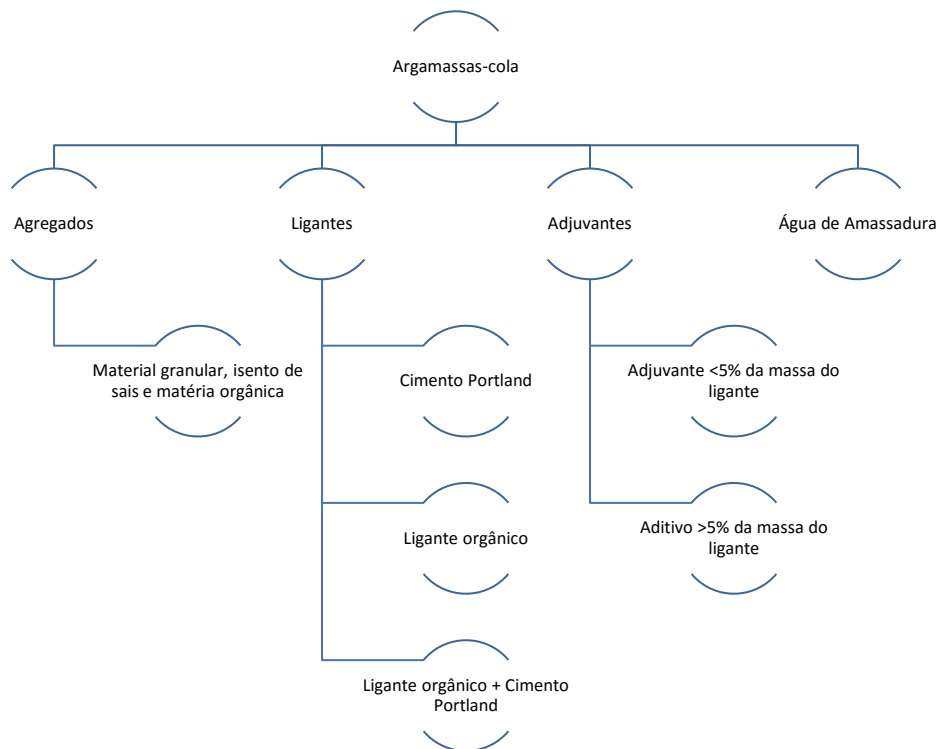


Figura 1 - Composição genérica das argamassas-cola.

Relativamente às propriedades das argamassas-cola, segundo a EN 12004, encontram-se divididas em propriedades de aplicação e propriedades finais (CEN,2012).

As propriedades de aplicação, dizem respeito a:

- **Tempo de armazenamento:** período de tempo durante o qual uma cola, armazenada em condições definidas, conserva as suas propriedades de aplicação;
- **Tempo de repouso:** período entre a preparação de uma cola e o momento em que esta deve ser aplicada;
- **Tempo de vida:** máximo período de tempo após a preparação de uma cola, durante o qual ela é utilizável;
- **Tempo aberto:** máximo período de tempo para a fixação dos ladrilhos desde o momento de aplicação de uma cola, permitindo cumprir a aderência especificada;
- **Poder molhante:** aptidão de uma camada de cola penteada para molhar os ladrilhos;

- **Deslizamento:** deslocação, sobre uma superfície vertical inclinada, de um ladrinho aplicado sobre uma camada de cola penteada;
- **Tempo de ajustabilidade:** máximo período de tempo durante o qual a posição de um ladrinho na camada de cola pode ser corrigida após colocação, sem perda significativa da aderência final.

As propriedades finais segundo a norma são:

- **Tensão de aderência:** força máxima de rutura por unidade de superfície, que pode ser medida com a aplicação de uma força de tração ou de corte.
- **Deformabilidade:** capacidade apresentada por uma cola endurecida para ser deformada por tensões entre o ladrinho e a superfície de suporte, sem danos para a superfície revestida.
- **Deformação transversal:** Deflexão registada no centro de uma camada de cola endurecida submetida a uma carga aplicada em três pontos. A deformação transversal é utilizada para avaliar a deformabilidade de uma cola.

2.4 Argamassas-cola de base orgânica

A utilização de polímeros em materiais cimentícios iniciou-se em 1920, quando as dispersões de borracha natural eram utilizadas. No entanto a difusão e o seu desenvolvimento ocorreram a partir dos anos 40 até aos dias de hoje.

As argamassas que tenham na sua constituição ligantes orgânicos, como por exemplo, ligantes poliméricos, caracterizam-se por ter uma elevada aderência e flexibilidade. Estas apresentam também boas propriedades no estado fresco, tais como o aumento na incorporação de ar resultando na melhoria da trabalhabilidade e capacidade de retenção de água (Almeida e Sichieri, 2006).

Os polímeros, são moléculas de grandes dimensões, constituídas por unidades estruturais, unidas entre si por ligações covalentes, que conduzem a uma cadeia linear, com ou sem ramificações, ou a cadeias ligadas entre si formando estruturas tridimensionais (Davim, 1998).

Podemos classificar os polímeros segundo o seu comportamento à temperatura como (Figura 2):

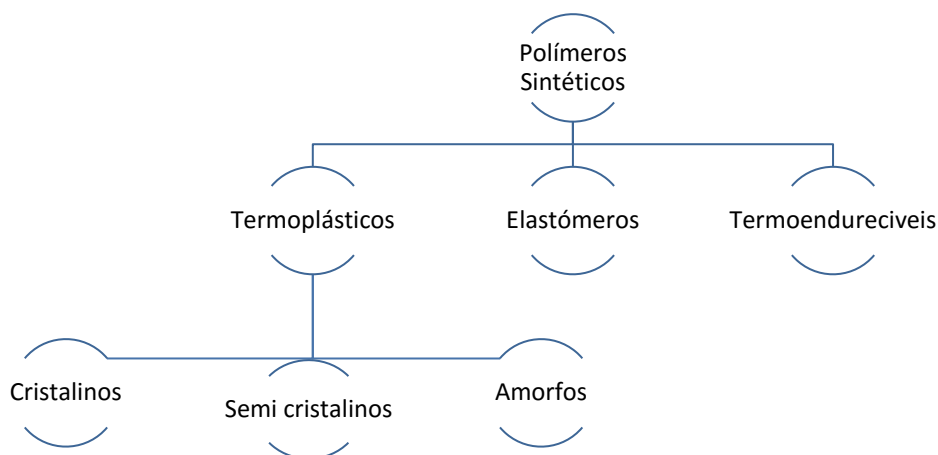


Figura 2 - Classificação dos polímeros

- **Termoplásticos:** quando aquecidos a temperaturas elevadas, formam um fluxo viscoso, podendo ser moldados plasticamente, voltando ao estado sólido quando arrefecidos. São polímeros lineares ou ramificados que podem ser divididos em cristalinos e amorfos. A sua cristalização depende de vários fatores, tais como, a ramificação e a regularidade da molécula.
- **Termoendurecíveis:** quando são processados, solidificam numa massa formando um corpo estável, o qual não voltará a amolecer pelo que não poderá ser reprocessado, são geralmente mais rígidos e mais frágeis. Consistem numa rede molecular tridimensional densa, onde a aplicação de calor excessivo após o seu processamento conduz à sua degradação.
- **Elastômeros:** podem ser deformados a elevadas tensões e recuperam rapidamente quando a tensão é retirada. Isto deve-se à estrutura molecular do polímero, que consiste numa rede macromolecular levemente reticulada. As moléculas deslizam umas em relação as outras quando se deformam, mas a reticulação evita um fluxo permanente e as moléculas voltam a sua posição inicial quando se retira a tensão aplicada (Davim, 1998).

Na tabela seguinte, são apresentados os principais materiais plásticos pertencentes às categorias dos termoplásticos, termoendurecíveis e elastômeros, fazendo-se acompanhar das suas respetivas siglas.

Tabela 3 - Principais materiais plásticos (Esgalhado & Rocha, 2002)

Termoplásticos		Termoendurecíveis	
Designação do material plástico	Sigla	Designação do material plástico	Sigla
Poliétileno	PE	Poliuretanos *	PUR
Poliétileno de baixa densidade	PEBD	Resina epoxídica	EP
Poliétileno de alta densidade	PEAD	Resina de fenol formaldeído	PF
Poliétileno reticulado	PER/PEX	Resina de ureia formaldeído	UF
Polipropileno	PP	Resina de melamina formaldeído	MF
policloreto de vivilo	PVC	Poliéster insaturado	UP
Poliacetato de vinilio	PVAC	Silicone	SI
Poliestireno	PS	Elastómeros	
Polimetacrílico de metilo	PMMA	Silicone	SI
Policarbonato	PC	Poliestireno butadieno	SB
Poliamida	PA	Poliestireno acrilonitrilo	SAN
Polibutileno	PB	Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS
Poliereftalato	PPO	Polibutadieno	PBD
Poliereftalato de butileno	PBTB	Poliisobutileno	PIB
Poliereftalato de etileno	PETB	Policloropreno	-
Polioximetilino	POM	poliisopreno	PIP

* **nota:** podem pertencer às 3 categorias

O conhecimento da estrutura e das propriedades dos polímeros, bem como o avanço tecnológico, permitiram a obtenção de materiais que satisfaçam as especificações necessárias, as quais cada vez mais exigentes.

Na presente dissertação, o estudo das colas de base orgânica, tem como foco argamassas de base de resina epoxídica e resina de poliuretano.

Resinas epoxídicas (EP)

As resinas epoxídicas podem ser obtidas a partir de diferentes compostos químicos, são sintetizados a partir de um difenol e da epícloridina do glicol. As propriedades depois de curados, dependem do tipo de endurecedor (normalmente, aminas) da temperatura e do programa de cura. Apresentam excelentes propriedades a nível mecânico, baixa absorção de água, boa resistência química (sobretudo as substâncias alcalinas), estabilidade dimensional, baixa contração, boa resistência à abrasão e excelentes propriedades de adesão (Davim, 1998).

Na construção civil constituem a base de várias pinturas e revestimentos, são ainda usadas como adesivos (Esgalhado & Rocha, 2002).

Poliuretano (PU)

Os poliuretanos incluem todos os produtos da reação dos polisocianatos com polióis. A reticulação, consegue-se posteriormente, utilizando um catalisador e outros aditivos, sendo o CO₂ o principal agente expansivo. Os poliuretanos que são empregues em revestimentos e adesivos têm estruturas diversificadas, desde formas lineares simples, ate estruturas reticuladas complexas (Davim, 1998).

Os poliuretanos quando pertencentes à categorias dos termoplásticos podem comportar-se como elastómeros, quando termoendurecíveis utilizam-se na forma de revestimentos ou na forma de espuma (Esgalhado & Rocha, 2002)

No caso de argamassas de base cimentícia, os polímeros correntemente usados para obter aderência são copolímeros/terplímeros termoplásticos como, por exemplo, acetato de vinilo-etileno-versatato de vinilo ou acetato de vinilo-versatato de vinilo, na forma de polímeros redispersáveis.

No processo de colagem, a adesão é o fenómeno mais importante. Pode ser entendido como a interação entre duas superfícies, causada por um forte campo de “forças atrativas” provenientes dos constituintes de cada superfície. Quando não é possível separar duas materiais coladas, é porque há uma adesão adequada. Aderência é a resistência oferecida quando se pretende separar dois materiais colados que pode ser medida através de testes de laboratório.

2.4.1 Colas dispersão (D)

As colas em dispersão aquosa, são uma mistura de ligantes orgânicos sob a forma de polímeros em dispersão aquosa, de aditivos orgânicos e de cargas minerais finas

São constituídas à base de borrachas naturais e sintéticas, diluídas em líquido orgânico ou em resinas acrílicas, em suspensão aquosa (Severo, 2013; CEN, 2014).

Devido à sua composição, estas colas não são resistentes à água e ao gelo, sendo necessário ter o cuidado de não as aplicar em ambientes húmidos ou no exterior dos edifícios (Freitas *et al.*, 2003).

Depois de secas, tem valores da deformabilidade superiores ao das argamassas tradicionais apresentando também bons desempenhos quando submetidas a esforços de deformação de origem térmica e mecânica.

Geralmente, estes produtos são apresentados na forma de pasta adesiva, com resinas sintéticas em dispersão, cargas siliciosas e aditivos.

Os principais polímeros utilizados em colas em dispersão são:

- Acrílicos e co-polímeros acrílicos
- Co-polímeros e terpolímeros de etileno-acetato de vinilo
- Poliacetato de vinilo (PVA);
- Borracha de butadieno- estireno (SBR);
- Borracha natural;
- Poliuretano (PU).

2.4.2 Colas de reação (R)

As colas de resinas de reação são a solução ideal nos casos de humidade persistente, uma vez que a camada de cola assegura uma ligação estável entre os materiais.

A estanquidade e impermeabilização ocorrem devido à sua neutralidade à água e pela ausência de porosidade no produto de revestimento.

Este material é aplicado em locais onde as peças cerâmicas estejam sujeitas a agressões químicas, uma vez que apresentam elevada resistência ao ataque químico de ácidos.

Estas colas caracterizam-se pela sua elevada resistência mecânica e química, durabilidade, elevada resistência aos ácidos e pelo endurecimento por reação química sem retração.

Os principais polímeros utilizados em colas de reação são:

- Epóxidos;
- Poliuretano;
- Poliésteres insaturados (UP);
- Silicones;
- Condensados de formaldeídos.

2.5 Caracterização de materiais a nível mecânico e enquadramento normativo atual

Nas últimas décadas, têm sido implementadas medidas relativamente à garantia de execução da colagem de peças cerâmicas com segurança e qualidade.

A partir de 2004, deu-se início ao desenvolvimento de normativas europeias com o intuito de homogeneizar as normas presentes em cada país, tendo em conta a apresentação da marcação CE aplicáveis às argamassas-cola. Estas normas encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4- Normas relacionadas com as argamassas-cola (APFAC).

ARGAMASSAS-COLA	
REFERÊNCIA	TÍTULO
NP EN 12004	Colas para ladrilhos. Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação.
EN 1308	Adhesives for tiles. Determination of slip resistance.
EN 1323	Adhesives for tiles. Concrete slab for tests.
EN 1324	Adhesives for tiles. Determination of shear adhesion strength of dispersion adhesives.
EN 1346	Adhesives for tiles. Determination of open time.
EN 1347	Adhesives for tiles. Determination of wetting capability.
EN 1348	Adhesives for tiles. Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives.
EN 12002	Adhesives and grouts for tiles. Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts.
EN 12003	Adhesives for tiles. Determination of shear adhesion strength of reaction resin adhesives.
EN 12808-1	Adhesives and grouts for tiles. Determination of chemical resistance of reaction resin mortars.
EN 1067	Adhesives. Examination and sampling for testing.

A norma europeia EN 12004 define e especifica os requisitos mínimos para todos os adesivos de colagem cerâmica. Este documento define também, os métodos de ensaio normativos para assegurar a fidelidade na determinação e comparação de medições. Define também o tipo de produto consoante a sua natureza química e identifica a utilização de um determinado material. (Silva *et al.*, n.d.)

Como descrito na secção 2.2 existem três tipos de colas (C, D e R). As colas do tipo D e R são aquelas que usam ligantes orgânicos preferencialmente e cujas características se encontram descritas na Tabela 5 e 6.

Colas em dispersão aquosa, D

As colas em dispersão devem apresentar as características apresentadas na Tabela 5.

2a	Características Fundamentais		
Característica		Requisito	Método de ensaio
Tensão de aderência inicial ao corte		$\geq 1\text{N/mm}^2$	7.2 da EN 1324:2007
Tensão de aderência ao corte após ação do calor		$\geq 1\text{N/mm}^2$	7.2 da EN 1324:2007
Tempo aberto: tensão de aderência à tração		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 20 min	EN 1346
Características Opcionais			
2b	Características Especiais		
Característica		Requisito	Método de ensaio
Deslizamento		$\leq 0,5\text{mm}$	EN 1308
Tempo aberto prolongado: tensão de aderência à tração		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 30 min	EN 1346
2c	Características Adicionais		
Característica		Requisito	Método de ensaio
Tensão de aderência após imersão em água		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	7.3 da EN 1324:2007
Tensão de aderência a alta temperatura		$\geq 1\text{N/mm}^2$	7.5 da EN 1324:2007

Tabela 5 - Especificações para colas em dispersão aquosa.

Colas de resinas de reação, R

Estas colas são fornecidas sob a forma de um ou mais componentes e devem estar em conformidade com as características apresentadas na Tabela 6.

3a	Características Fundamentais		
Característica		Requisito	Método de ensaio
Tensão de aderência inicial ao corte		$\geq 2\text{N/mm}^2$	7.3 da EN 12003:1997
Tensão de aderência ao corte após ação do calor		$\geq 2\text{N/mm}^2$	7.4 da EN 12003:1997
Tempo aberto: tensão de aderência à tração		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$ após não menos de 20 min	EN 1346
Características Opcionais			
3b	Características Especiais		
Característica		Requisito	Método de ensaio
Deslizamento		$\leq 0,5\text{mm}$	EN 1308

3c	Características Adicionais	
Característica	Requisito	Método de ensaio
Tensão de aderência após choque térmico	$\geq 2\text{N/mm}^2$	7.5 da EN 12003:1997

A nível da ISO/TC 189/WG9 discute-se atualmente a possibilidade de uma norma adicional para este material, sob o tema “*Low modulus adhesives for exterior tile finishing*”, cujos requisitos ainda em discussão, são substancialmente diferentes dos aplicados às resinas tipo R da EN 12004, por exemplo, com aderência por tração perpendicular com metodologia e com valores mínimos admissíveis de 0,4 ou 0,6 N/mm^2 conforme a situação em análise (ISO/TC189WG9, 2014).

Propriedades		Requisitos
Força adesiva	Cura padrão	0,60 N/mm^2 ou maior e 75% ou mais da proporção de falha coesiva
	Cura a baixa temperatura	0,40 N/mm^2 ou maior e 50% ou mais da proporção de falha coesiva
	Imersão em água morna alcalina	0,40 N/mm^2 ou maior e 50% ou mais da proporção de falha coesiva
	Ciclos de congelamento e descongelamento	0,40 N/mm^2 ou maior e 50% ou mais da proporção de falha coesiva
	Envelhecimento térmico	0,40 N/mm^2 ou maior e 50% ou mais da proporção de falha coesiva

Tabela 7 - Especificações segundo a ISO/TC 189/WG9 (propostas do grupo de trabalho).

Adicionalmente, numa análise bibliográfica sobre a mecânica dos materiais, aponta para um conjunto de ensaios mecânicos adicionais à aderência (por corte ou por tração perpendicular) que eventualmente permite uma caracterização superior destes materiais. Para medir a resistência mecânica dos materiais poliméricos, é possível realizar os ensaios da Tabela 8:

Tabela 8 - Ensaio mecânicos - Polímeros.

Ensaio	Descrição	Normas
Resistência à tração	Tensão máxima que um material pode suportar ao ser tracionado, antes de sofrer rotura. Os polímeros possuem resistência a tração muito baixa comparado a outros materiais	ASTM D638 ISO 527 ASTM D412 ISO 37 ASTM D882 ASTM D3039
Resistência à flexão	Tensão máxima a qual a superfície de uma barra está sujeita ao dobramento	ASTM D790 ISO 178

Resistência à compressão	Tensão máxima que um material suporta sob compressão, antes que o material sofrer rotura. Os polímeros termoendurecíveis tem uma resistência maior que os termoplásticos	ASTM D695 ISO 604
Resistência ao cisalhamento	Tensão aplicada por forças em sentidos iguais ou opostos	ASTM D624 ASTM D1004 ISO 34
Resistência ao impacto IZOD	Tenacidade ou a resistência de um material rígido à deformação a uma alta velocidade ou a baixa temperatura	ASTM D256 ISO 180
Dureza Shore	Medida da profundidade da impressão deixada no material com a aplicação da carga. Depende de outros fatores além da dureza, como das propriedades viscoelásticas e da duração do ensaio	ASTM D2240 ISO 868 ISO 7619
Dureza Rockwell	Profundidade de impressão causada por um penetrador sob a ação de uma carga como indicador da medida de dureza.	ASTM D785 ISO 2039
Resistência à abrasão	Capacidade que um material tem de resistir ao desgaste obtido por fricção	ASTM D5963 ISO 4649 DIN 53516

Capítulo 3

Argamassas de impermeabilização

3. Argamassas de Impermeabilização

3.1 Considerações Iniciais

Os primeiros materiais utilizados nas construções foram óleos e betumes naturais, uma vez que forneciam características impermeabilizantes, sendo exemplos disto, a Muralha da China, as piscinas das termas romanas e os Jardins da Babilônia. Já na era romana, o material impermeabilizante era a “albumina”, composta por clara de ovo, sangue, óleos, entre outros. Este composto, tinha como função impermeabilizar saunas e aquedutos (PICCHI, 1986).

Falar de impermeabilização é fazer uma trajetória metodológica, em busca da correta utilização dos sistemas de impermeabilização, dado que é através dela que se obtém a proteção de construções, de modo a impedir a passagem da água. Estando sujeitas a determinadas condições de pressão, as argamassas de impermeabilização têm como objetivo impedir a penetração de água ou de outro componente líquido no suporte.

A argamassa de impermeabilização tem características específicas, dependendo do tipo de uso a que está destinada. Podem ter como base cimento e polímero, resinas em dispersão e resinas reativas (Motzet, et al, 2013).

Os adjuvantes adicionados aos diferentes tipos de argamassas são um elemento essencial para a construção, as suas inúmeras aplicações faz com que estes se tornem importantes na concepção de uma obra.

3.2 Tipos de Argamassas de Impermeabilização

A construção proporciona diferentes situações e condições onde as argamassas podem ser empregues, cada uma delas com propriedades diferentes, sendo por isso necessário a aplicação de uma argamassa específica. Existe um leque de argamassas disponível, sendo estas por vezes constituídas por aditivos e adjuvantes, além de agregados, ligantes e água.

As argamassas de impermeabilização podem ser obtidas de forma tradicional, ou em fábrica. O processo de fabrico das argamassas pré-doseadas de impermeabilização (Figura 3) é semelhante ao das restantes argamassas pré-doseadas. São argamassas que

resultam da mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, cargas, agregados, adjuvantes e/ou aditivos doseados e misturados em centrais especializadas, sendo apenas necessário adicionar água em obra.

O facto de ser um produto pré-doseado permite que sejam sujeitos a um controlo interno de qualidade, que garanta a qualidade e manutenção das características (Costa, 2008).

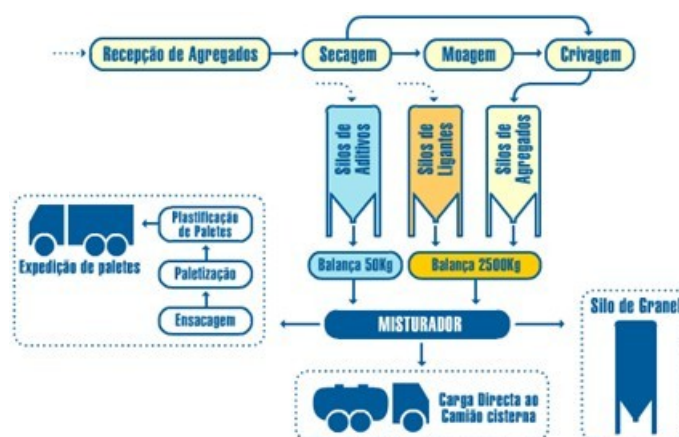


Figura 3 - Esquema de produção industrial de argamassas (APFAC)

A utilização de materiais poliméricos veio contribuir para a resolução de problemas de impermeabilização de uma forma simples e económica. A preferência deste tipo de materiais deve-se à sua impermeabilização, resistência a bolores e a outros organismos, além da sua flexibilidade e resistência mecânica (Esgalhado & Rocha, 2002).

A adição de materiais poliméricos nas argamassas prende-se com a melhoria de propriedades como a aderência, a resistência à flexão, maior resistência à penetração de água, entre outras.

Os polímeros que se adicionam a argamassas apresentam-se, geralmente, em pó ou em dispersão aquosa. Os polímeros em pó, também designados por redispersáveis, apresentam-se numa embalagem única (monocomponente) e produzem-se por processos especiais de secagem, a partir de dispersões aquosas.

Os polímeros em dispersão aquosa implicam a apresentação de produtos com dois componentes em separado (bi-componente: um orgânico e um mineral). A ação de mistura destes dois componentes, resulta da formação de um filme obtido após evaporação parcial da água de amassadura e por coalescência das partículas individuais das partículas de polímero.

Por último, ainda se pode usar polímeros de reação, como poliuretanos ou epóxis, na forma de um ou dois componentes. A sua funcionalidade é similar ao apresentado na secção 2.4 para as argamassas cola.

A adição de polímeros pode contribuir para a obtenção de propriedades que tornem a argamassa mais compatível com os suportes, ao nível de algumas propriedades mecânicas mas, por outro lado, pode contribuir para uma incompatibilidade entre ambos ao nível de propriedades físicas ou mecânicas (Ribeiro, et al, 2007).

Na presente dissertação, o estudo das argamassas de impermeabilização de base orgânica, tem como foco argamassas de base acrílica, de base de poliuretano e de base “híbrida” (acrílico + poliuretano).

Acrílico (PMMA)

O polimetacrilato de metilo (PMMA) também designado por acrílico, é produzido a partir da reação de polimerização do metacrilato de metilo, na presença de catalisadores. É um polímero amorfo e transparente que não absorve a luz visível. A sua temperatura de transição varia entre 105 e 120°C. É estável em exposição ao ambiente e altamente resistente à radiação UV.

Finalmente, ainda existem soluções com base em betuminosos mas que não serão alvo de consideração neste trabalho.

3.3 Caracterização e propriedades

Segundo a EN14891, os produtos impermeáveis à água na forma líquida são classificados em 3 tipos:

- **CM** - Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida;
- **DM** - Produto em dispersão aquosa impermeável à água aplicado na forma líquida;
- **RM** - Resinas de reação impermeável à água aplicada na forma líquida.

Para cada tipo de produto é possível considerar diferentes classes consoante as diferentes características opcionais. Estas classes são designadas pelas seguintes abreviaturas:

- **O1** - Com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C);
- **O2** - Com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20 °C);
- **P** - Resistente ao contacto com água clorada (por exemplo, para uso em piscinas).

O produto é designado pelos símbolos CM, DM ou RM para cada tipo, seguido da abreviatura da classe ou classes a que pertence (Tabela 9).

Tabela 9 - Designação e classificação dos produtos impermeáveis para aplicação na forma líquida.

Símbolo		DESCRIÇÃO
Tipo	Classe	
CM		Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida
DM		Produto em dispersão aquosa impermeável à água aplicado na forma líquida
RM		Resina de reação impermeável à água aplicada na forma líquida
CM	O1	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C)
CM	O2	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20 °C)
DM	O1	Produto em dispersão aquosa impermeável à água aplicado na forma líquida com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C)
DM	O2	Produto em dispersão aquosa impermeável à água aplicado na forma líquida com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20°C)
RM	O1	Resina de reação impermeável à água aplicada na forma líquida com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C)
RM	O2	Resina de reação impermeável à água aplicada na forma líquida com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20 °C)
CM	P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida resistente ao contacto com água clorada
DM	P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida resistente ao contacto com água clorada

RM	P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida resistente ao contacto com água clorada
CM	O1P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida, com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C), resistente ao contacto com água clorada
CM	O2P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida, com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20 °C), resistente ao contacto com água clorada
DM	O1P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida, com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C), resistente ao contacto com água clorada
DM	O2P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida, com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20 °C), resistente ao contacto com água clorada
RM	O1P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida, com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5 °C), resistente ao contacto com água clorada
RM	O2P	Produto cimentício impermeável à água aplicado na forma líquida, com melhoria da capacidade de resistência à fissuração em condições de muito baixa temperatura (-20 °C), resistente ao contacto com água clorada

3.4 Caracterização de materiais a nível mecânico e enquadramento normativo atual

As argamassas de impermeabilização são regulamentadas a nível Europeu e Nacional, sendo que em alguns países são certificadas por organizações privadas.

A NP EN 14891 apresenta os requisitos (Tabela 1.), métodos de ensaio, avaliação da conformidade, classificação e designação de produtos impermeáveis à água, para aplicação na forma líquida sob ladrilhos de cerâmicos colados (CEN, 2015).

Tabela 10 - Especificações segundo a NP EN 14891.

1a	Características Fundamentais		
Característica		Requisito	Método de ensaio
Tensão de aderência inicial à tração		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	A.6.2.
Tensão de aderência à tração após imersa em água		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	A.6.3 ou A.6.4
Tensão de aderência à tração após ação do calor		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	A.6.5
Tensão de aderência à tração após ciclos de gelo-degelo		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	A.6.6
Tensão de aderência à tração após contacto com		$\geq 0,5\text{N/mm}^2$.	A.6.9

água de cal		
Impermeabilidade	Sem penetração e ≤ 20 g de massa adicional	A.7
Capacidade de resistência à fissuração em condições normais	$\geq 0,75\text{N/mm}$	A.8.2
1b	Características Opcionais	
Característica	Requisito	Método de ensaio
Tensão de aderência à tração após contacto com água de cloro	$\geq 0,5\text{N/mm}^2$	A.6.7 ou A.6.8
Capacidade de resistência à fissuração em condições de baixa temperatura (-5°C)	$\geq 0,75$ mm	A.8.3
Capacidade de resistência à fissuração em condições de temperatura muito baixa (-20°C)	$\geq 0,75$ mm	A.8.3

A EN 15814 apresenta as definições e requisitos (Tabela 11) para os revestimentos espessos de polímeros betuminosos modificados para impermeabilização (CEN, 2012).

Tabela 11 - Especificações segundo a EN 15814.

Características	Requisitos				Método de Ensaio
Capacidade de fissuração	Classe CB 0 Nenhuma exigência		Classe CB1 Sem danos Largura da falha ≥ 1mm Espessura da camada seca ≥ 3 mm(MLV)	Classe CB2 Sem danos Largura de falha ≥ 2mm Espessura da camada seca ≥ 3 mm(MLV)	EN 15812 Método A ou B
Resistência à chuva	Classe R0 Nenhuma exigência	Classe R1 ≤ 24h Espessura da camada molhada ≥ 3 mm(MLV)	Classe R2 ≤ 8h Espessura da camada molhada ≥ 3 mm(MLV)	Classe R3 ≤ 4h Espessura da camada molhada ≥ 3 mm(MLV)	EN15816
Resistência à água	1. Sem coloração da água 2. Nenhum descolamento de incrustações, se a camada seca usada ≥4mm Nenhuma alteração do material de acordo com EN15817				EN 15817
Flexibilidade a baixa temperatura	Sem fissuras				EN 15813
Estabilidade dimensional a altas temperaturas	Sem deslizamento ou escoamento				EN 15818
Redução de espessura da camada quando totalmente secos	≤ 50% (MLV)				EN 15819
Reção ao fogo	Classe declarada de acordo com a EN 13501-1				EN 13501-1 Anexo A

Estanquidade à água	Classe W1 ≥24h a 0,0075N /mm ² espessura da camada seca «sem incrustações≥ 3 mm (MLV)	Classe W2A ≥72h a 0,0075N /mm ² espessura da camada seca com incrustações ≥ 4mm com incrustações (MLV)	Classe W2B ≥72h a 0,0075N /mm ² espessura da camada seca sem incrustações≥ 4mm sem incrustações (MLV)	EN 15815	
Resistência à compressão	Classe 0 Nenhuma exigência	Classe C1 Estabilização a ≤50% (alterar máximo 3% dentro 3 dias seguintes) 0,06 MN/m ² espessura da camada seca ≥ 3 mm (MLV)	Classe C2A Estabilização a ≤50% (alterar máximo 3% dentro 3 dias seguintes) 0,30 MN/m ² espessura da camada seca ≥4 mm com incrustações (MLV)	Classe C2B Estabilização a ≤50% (alterar máximo 3% dentro 3 dias seguintes) 0,30 MN/m ² espessura da camada seca ≥4 mm sem incrustações (MLV)	EN 15815

Também neste caso se pode adaptar os mesmos ensaios indicados na Tabela 10 que, eventualmente, permita uma caracterização superior destes materiais.

Capítulo 4

Propriedades mecânicas dos materiais

4. Propriedades mecânicas dos Materiais

A resistência dos materiais é o ramo que estuda as relações entre as cargas externas aplicadas a um corpo e a intensidade das forças internas que atuam dentro de um corpo. O principal objetivo da resistência dos materiais é propiciar meios de determinação de tensões (σ) e de deformações (δ) decorrentes das cargas aplicadas (Hibbeler, 2010).

Durante a seleção de um tipo de material para um projeto são avaliadas as suas propriedades mecânicas e seu comportamento mecânico, sendo esta realizada através de ensaios normalizados. As principais associações técnicas fornecem as normas que descrevem o procedimento do ensaio, bem como requisitos mínimos de resistência mecânica (Fredel, Ortega, & Basto, 2015).

A origem do estudo da resistência dos materiais remonta aos séculos XVI e XVII, onde Leonardo da Vinci (1452-1519) e Galileu Galilei (1564-1642) realizaram experiências para estudar os efeitos de cargas em hastes e vigas feitas de diferentes materiais. Estes, perceberam a necessidade de compreender as propriedades mecânica dos materiais, pois não tinham uma explicação para os resultados obtidos (Bittencourt, 2016).

Em França, já no século XVIII, Saint-Venant, Poisson, Lamé, e Navier desenvolveram estudos experimentais e teóricos mais complexos.

Com o passar do tempo, muitos problemas foram resolvidos de forma analítica mediante adoção de hipóteses e de considerações. Atualmente, com a necessidade de resolver problemas mais complexos, tem-se utilizado técnicas mais avançadas de matemática e de computação (Hibbeler, 2010).

4.1 Diagrama tensão-deformação

A resistência dos materiais depende da sua capacidade de suportar uma força sem sofrer uma deformação excessiva ou ruptura.

Através do gráfico obtido pelos ensaios, é possível calcular vários valores de tensão e deformação correspondentes ao corpo de prova. (Buffoni, 2006)

Tensão nominal – determina-se com os dados registados, dividindo-se a carga aplicada (P) pela área de secção transversal inicial do corpo de prova (A_0).

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad \text{Equação 1}$$

Deformação nominal – É obtida pela leitura do extensômetro ou pela divisão entre a variação do comprimento de referência (δ), pelo comprimento de referência (L_0).

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad \text{Equação 2}$$

Se os valores correspondentes à tensão e deformação forem colocados num gráfico, em que a ordenada é a tensão e a abcissa a deformação, obtém-se a curva resultante do diagrama tensão-deformação. Este gráfico permite obter os dados sobre a resistência do material sem considerar o seu formato físico do material (Beer & Johnston, 2009).

Na figura seguinte, é possível identificar os quatro comportamentos distintos que o material pode sofrer consoante a grandeza que lhe é aplicada.

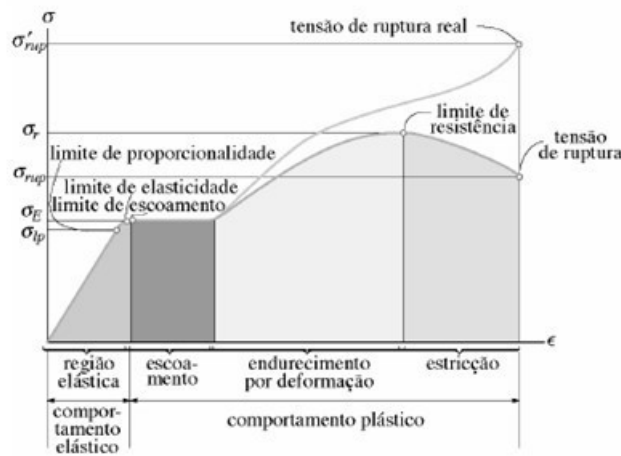


Figura 4 - Diagrama Tensão-Deformação convencional e real para um material dúctil

Fases importantes do diagrama:

- Fase elástica: O material apresenta um comportamento linear elástico, ou seja, a tensão é proporcional à deformação;
- Escoamento: O material sofre uma deformação brusca, enquanto a tensão mantém-se constante;

- Endurecimento por deformação: quando o escoamento termina e a carga continua a ser aplicada, a curva cresce continuamente até atingir a tensão limite, denominada de limite de resistência;
- Estricção: a partir do limite de resistência, a área da seção transversal começa a diminuir numa região específica do corpo de prova e a carga sofre um decréscimo até à sua rutura.

Os materiais são classificados como dúcteis ou frágeis, dependendo das suas características de tensão-deformação. No caso dos materiais dúcteis, estes podem ser submetidos a grandes deformações antes da rutura. A sua principal vantagem é que são capazes de absorver o choque ou a energia, quando sobrecarregados, sendo visível a sua deformação antes de cederem. Os materiais frágeis possuem pouco ou nenhum escoamento antes da rutura.

Como já citado anteriormente, através do gráfico tensão-deformação, é possível obter a relação entre a tensão e a deformação obtidas pelos materiais. Na presente dissertação, serão tidos em conta alguns pontos obtidos pela curva do gráfico, nomeadamente os que se apresentam na figura seguinte.

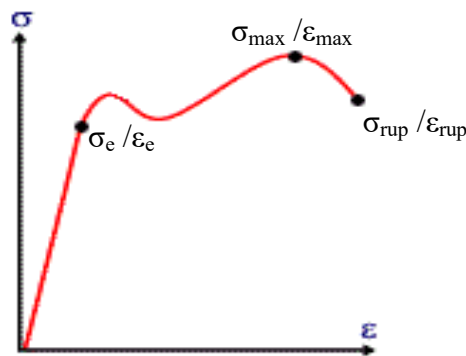


Figura 5 - Pontos de estudo: tensão-deformação

Em que:

σ_e / ϵ_e = tensão e deformação no limite da zona elástica

$\sigma_{max} / \epsilon_{max}$ = tensão e deformação máximas

$\sigma_{rup} / \epsilon_{rup}$ = tensão e deformação de rutura

Em algumas situações, ver-se-á que as tensões/deformações da rotura equivalem também às tensões/deformações máximas.

4.2 Módulo de elasticidade

Como foi citado anteriormente, a maioria dos materiais apresenta uma regressão linear entre tensão e deformação na região de elasticidade. Este facto foi descoberto por Robert Hooke, em 1676, com o auxílio de molas e é conhecido como Lei de Hooke.

$$\sigma = E\epsilon \quad \text{Equação 3}$$

Onde (E) é a constante de proporcionalidade, módulo de elasticidade ou módulo de Young, nome derivado de Thomas Young que explicou a Lei em 1807 e (ϵ) a deformação longitudinal.

Um material é considerado linear-elástico se a tensão for proporcional à deformação dentro da região elástica. Essa condição é denominada Lei de Hooke e o declive da curva é chamado de módulo de elasticidade (Hibbeler, 2010).

O módulo de elasticidade é a medida da rigidez do material; quanto maior o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão e mais rígido será o material. Para situações onde o material tem de manter uma baixa deformação, o módulo de elasticidade é um valor importante a ter em conta, devendo-se escolher um material que tenha esse valor suficientemente alto para suportar grandes tensões com pequena deformação elástica (Souza, 2000).

4.3 Energia de deformação

As deformações resultantes dos campos de força podem ser classificadas de dois tipos:

- Deformação elástica – após serem removidos os esforços atuantes sobre o corpo, este volta à forma original,
- Deformação plástica – após serem removidos os esforços, o corpo não recupera a forma original.

À medida que um material é deformado por uma carga, tende a armazenar energia internamente. Como essa energia se relaciona com a deformação do material, é chamada de energia de deformação. Por vezes é necessário expressar a deformação por unidade de volume do material, que pode ser calculada através da seguinte equação:

$$u = \frac{1}{2} \sigma \epsilon \quad \text{Equação 4}$$

Quando a tensão (σ) atinge o limite de proporcionalidade, a densidade da energia de deformação é denominada por módulo de resiliência (u_r). A resiliência é a capacidade que um material tem de absorver energia, sem sofrer qualquer dano permanente e expressa-se por:

$$u_r = \frac{1}{2} \sigma_{lp} \epsilon_{lp} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{lp}^2}{E} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

σ_{lp} = Tensão limite de proporcionalidade (MPa)

ϵ_{lp} = Deformação limite de proporcionalidade (mm)

Considerando a zona elástica do diagrama tensão-deformação, a resiliência é equivalente à secção triangular que se encontra a sombreado na figura 6. Outra propriedade importante num material é o módulo de tenacidade (u_t), representado por toda a área do diagrama tensão-deformação, e indica a densidade de energia de deformação do material imediatamente antes da sua rutura.

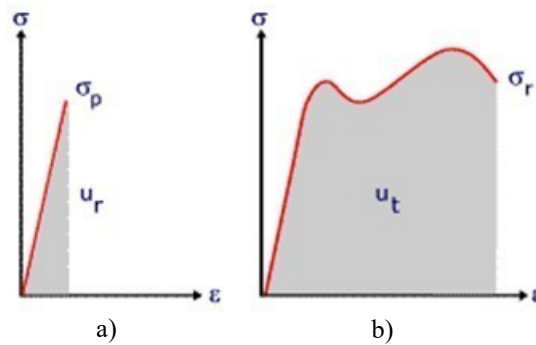


Figura 6 – a) Módulo de Resiliência; b) Módulo de Tenacidade

4.4 Limite de resistência

O limite de resistência é a tensão no ponto máximo da curva tensão-deformação. Esse ponto corresponde à tensão máxima que pode ser suportada pelo corpo de prova. Se essa tensão for aplicada e mantida, ocorrerá fratura no material. Nessa região uma pequena constrição começa-se a formar e toda a deformação subsequente fica confinada nessa região.

Nessa fase, a tensão recomeça a subir até chegar a um valor máximo denominado de limite de resistência (L_r), apresentado na figura seguinte.

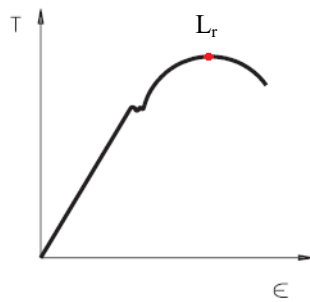


Figura 7 - Limite de Resistência

Para o seu calculo, aplica-se a seguinte equação:

$$L_r = \frac{F_{max}}{A_0}$$

Equação 6

Em que:

F_{max} – Força máxima aplicada pelo equipamento

A_0 – Área da secção inicial do corpo de prova

Capítulo 5

Metodologia experimental

5. Metodologia experimental

5.1 Considerações gerais

O objetivo do presente estudo consiste na avaliação das características mecânicas de argamassas cola e de impermeabilização com ligante orgânico. Assim, realizaram-se diferentes ensaios mecânicos, de modo a comparar as diferentes características das argamassas.

A determinação das propriedades mecânicas de um material é realizada por meio de vários ensaios, sendo estes normalmente destrutivos uma vez que promovem a ruptura ou a inutilização do material. Os ensaios mecânicos são realizados pela aplicação de um dos vários esforços possíveis sobre um determinado material, de modo a determinar a sua resistência aos mesmos a que é sujeito. (Souza, 2000)

Na realização dos ensaios mecânicos, utiliza-se as normas referentes à especificação e ao método de ensaio. Um método descreve o procedimento para se realizar um ensaio mecânico de modo a que, seguindo sempre o mesmo procedimento, seja possível comparar os diferentes materiais.

Para as argamassas cola, realizaram-se os ensaios mecânicos seguintes: aderência, flexão, corte, tração, impacto e dureza. Para as argamassas de impermeabilização, utilizaram-se diferentes reforços nos provetes, rede e geotêxtil, tendo sido realizados os seguintes ensaios: aderência, tração, torção e dureza.

No presente capítulo são especificados os procedimentos para a realização dos diferentes provetes, bem como as variações dos seus tempos de cura. São também apresentados os ensaios realizados e os respetivos procedimentos.

Na tabela 12 são apresentados os ensaios realizados por tipo de argamassa, bem como os procedimentos adaptados e as respetivas normas.

Tabela 12 - Ensaio mecânicos realizados

Produto analisado	Ensaio	Norma
Argamassas cola	Tração perpendicular	EN 1348:2007
	Deformação transversal	EN 12002:2002
	Tração pura	Método interno
	Corte	EN 12003.2008
	Dureza	ASTM D2240
	Impacto	Método interno
Argamassas de impermeabilização	Tração perpendicular	EN 14891
	Tração pura	Método interno ASTM D624
	Torção	Método interno
	Dureza	ASTM D2240

Foram selecionadas para estudo quatro argamassas cola e quatro argamassas de impermeabilização, sendo em ambos os casos uma de base cimentícia e três de base orgânica. A seleção dos produtos foi realizada com a empresa e pretende cobrir uma gama extensa de tipologia de materiais.

Argamassas cola

- Cimentício – É um cimento-cola, adequado para a colagem de cerâmica e pedra natural de grande formato em exterior. É constituído por cimento branco, inertes e aditivos específicos orgânicos e/ou inorgânicos em particular a presença de um polímero EVA (vinil acetato etileno).
- Epóxi – Argamassa para colagem e betumação em ambientes quimicamente exigentes. É constituído por resina epóxi, endurecedor e areias de sílica. (Weber, 2016)
- Poliuretano bi-componente – É uma argamassa de colagem, para a colagem de elevada exigência de pedra natural, cerâmica e mosaico hidráulico em interiores e exteriores. É constituído por resina de poliuretano, resina de epóxi, endurecedor e inertes.
- Poliuretano monocomponente - É uma argamassa de poliuretano monocomponente, de aplicação líquida e altamente elástica. A sua utilização é, sobretudo, para impermeabilização, mas também tem características de aderência de materiais.

Argamassas impermeabilização

- Cimentício – Argamassa monocomponente flexível de impermeabilização, revestível com cerâmica ou pedra, apto para contacto direto e permanente com água potável. É constituído por cimento, cargas minerais seleccionadas e resinas redispersáveis, em particular resinas EVA.
- Dispersão Acrílica - Membrana líquida de impermeabilização, elástico e revestível. É composto por uma dispersão aquosa de copolímeros estireno-acrílicos ou acrílicos e cargas. (Weber, 2016)
- Poliuretano - é uma membrana de poliuretano monocomponente, de aplicação líquida e altamente elástica.
- Híbrido - membrana líquida híbrida (acrílico + poliuretano) impermeabilizante de aplicação a frio, monocomponente, altamente elástica. (Nota: como híbrido, entende-se segundo terminologia do fornecedor, um processo de mistura física entre polímeros no mesmo encapsulamento).

Todas as argamassas foram preparadas segundo as especificações indicadas pela marca.

5.2 Argamassas-cola

5.2.1 Tração perpendicular uniaxial

A aderência é a capacidade da argamassa de resistir a tensões normais e tangenciais na interface com o suporte (Santos, 2008). É um fenómeno essencialmente mecânico devido à penetração e endurecimento da pasta nos poros ou entre as rugosidades e saliências do suporte. Por vezes, o suporte não favorece a ancoragem nas irregularidades e são utilizados produtos que promovem a aderência química e melhoram a união dos revestimentos.

O método de determinação da resistência à tração perpendicular, tem como base a EN 1348:2007 *Adhesives for tiles. Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives*. Este ensaio de aderência *pull-off* é uma técnica de ensaio destrutiva que tem como objetivo determinar a força por unidade de superfície

necessária para descolar uma argamassa-cola do suporte, através de uma força de tração perpendicular.

Com o auxílio de uma talocha, aplica-se o produto uniformemente sobre uma placa de betão, de seguida, com uma talocha dentada (6x6mm), inclinada 60° em relação ao suporte, aplica-se novamente uma camada de produto uniformemente na placa de modo a fazer o “penteado”. Após 5 minutos, para os ensaios de aderências inicial, colocam-se 5 ladrilhos cerâmicos vitrificados do tipo V1, de classe de absorção BIa e com dimensão facial de $50\pm 1\text{mm}$ por $50\pm 1\text{mm}$ sobre o produto, aplicando pesos de 20N durante 30 segundos. Para o ensaio de aderência ao tempo aberto, os cerâmicos apenas foram colocados no produto após 30 minutos.

Estas peças cerâmicas são do tipo P1, de classe de absorção BIII e com as mesmas dimensões das anteriores, sendo o restante processo igual. Os provetes são colocados em seguida numa câmara climatizada com condições de cura padrão (temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de 50 ± 5).

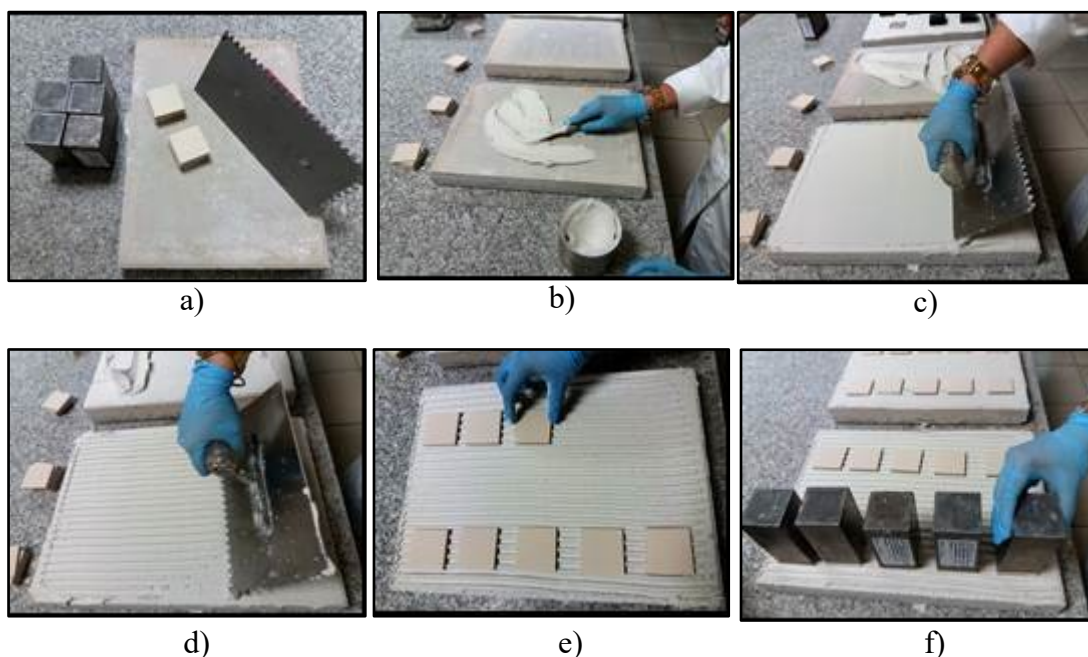


Figura 8 -Processo de preparação de placas: a) Material necessário; b) Espalhamento da argamassa; c) Aplicação uniforme; d) Aplicação com talocha dentada; e) colocação das peças cerâmicas; f) Aplicação dos pesos de 20N

Os provetes são sujeitos a diferentes condições de cura, com o objetivo e simular condições extremas a que as argamassas possam ser expostas depois de aplicadas em obra, tendo sido estudadas as aderências para as seguintes condições:

- Aderência inicial – a medição desta aderência é realizada ao fim de 7 dias de cura padrão (do ponto de vista do método, o alor costuma ser determinado após 28 dias de cura, neste caso, fez-se uma adaptação para simplificar o processo e assumiu-se apenas 7 dias de cura).
- Aderência após imersão em água – após 7 dias sujeitos à cura padrão, os provetes são colocados 21 dias em água a uma temperatura de 23°C, sendo realizada de seguida a resistência à tração.
- Aderência após envelhecimento por aquecimento - após 14 dias de cura padrão, coloca-se a placa numa estufa ventilada a 70±2°C durante mais 14 dias, sendo realizada de seguida a resistência à tração, com a placa arrefecida à temperatura ambiente.
- Aderência após envelhecimento a quente - após 14 dias de cura padrão, coloca-se a placa numa estufa ventilada a 70±2°C durante mais 14 dias, sendo realizada de seguida a resistência à tração ainda com a placa quente.

No dia anterior ao fim do tempo de cura, cola-se as peças metálicas adaptadas à máquina de ensaio à tração, com dimensões de 50±1mm por 50±1mm, nos ladrilhos com uma cola de alta resistência e volta-se a colocar os provetes nas condições de cura.

Após 24 horas, com o auxílio de um dinamómetro, determina-se a resistência à tração (CEN, 2007).

A tensão individual de resistência à tração é determinada pela seguinte expressão:

$$A_s = \frac{L}{A} \quad \text{Equação 7}$$

A_s – Resistência individual à tração (N/mm²)

L – Carga total (N)

A – Área de colagem (mm²) – no caso dos provetes corresponde a 2500mm²

A resistência é determinada calculando a média do valor de cada conjunto de provetes, excluindo-se de seguida os valores fora do intervalo definido por ±20% do valor médio e volta-se a calcular a média.

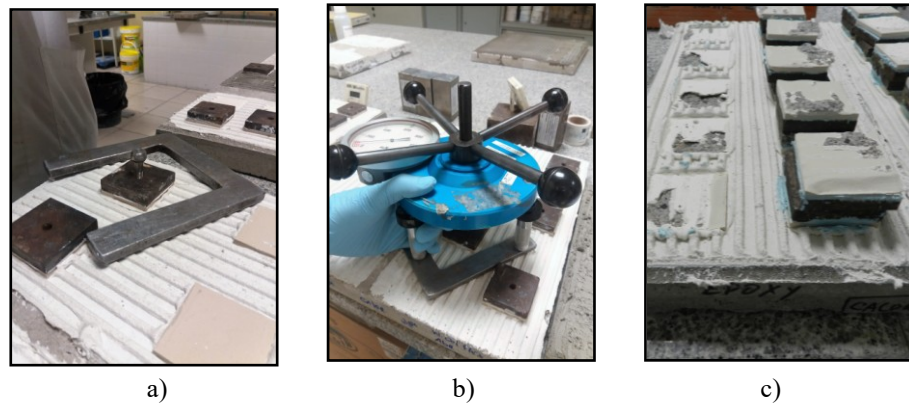


Figura 9 – Ensaio de aderência: a) material necessário; b) execução da aderência; c) placa após ensaio

Segundo a *EN 12004 Adhesives for tiles. Definitions and Specification* é necessário classificar as argamassas consoante o seu tipo de rotura.

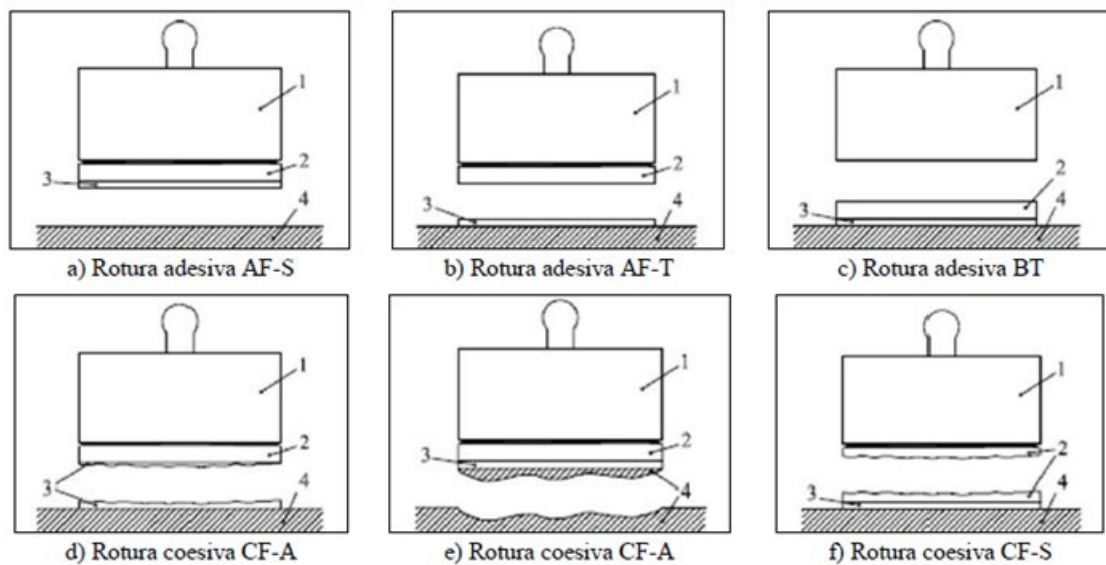


Figura 10 - Padrões de ruptura

Em que:

- 1- Acessório de tração
- 2- Ladrilho
- 3- Cola
- 4- Suporte

5.2.2 Deformação transversal (Flexão)

Segundo a NP EN 12004-2008, as argamassas-cola, devem ser classificadas, relativamente à deformação transversal como deformáveis, quando apresentam valores entre 2,5-5,0 mm e altamente deformáveis quando apresentam valores superiores a 5,0mm. A metodologia deste ensaio encontra-se descrito na EN 12002:2002, e tem como objetivo determinar a deformabilidade dos cimentos-cola através da medição da flecha de um provete com as dimensões de 300 ± 1 mm por 45 ± 1 mm e espessura de $3 \pm 0,05$ mm, suportado nas duas extremidades, quando sujeitos a uma força de flexão, aplicada no centro do provete, como podemos ver na figura 11.

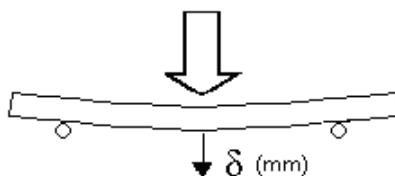


Figura 11 - Esquema do ensaio da deformação transversal

Para a preparação dos provetes, fixa-se uma película de polietileno com o auxílio de uma fita adesiva a um suporte rígido de modo a obter uma superfície lisa. De seguida, fixam-se igualmente com fita adesiva 3 moldes metálicos de dimensões internas de 280 ± 1 mm por 45 ± 1 mm e espessura de 5 ± 1 mm e aplica-se óleo de descofragem para facilitar o desmolde do provete. Após aplicação do produto no interior dos moldes e para garantir a compactação do material, fixa-se a placa com o conjunto de moldes a uma mesa compactadora e aplica-se 70 pancadas, removendo no final os moldes (figura 12).

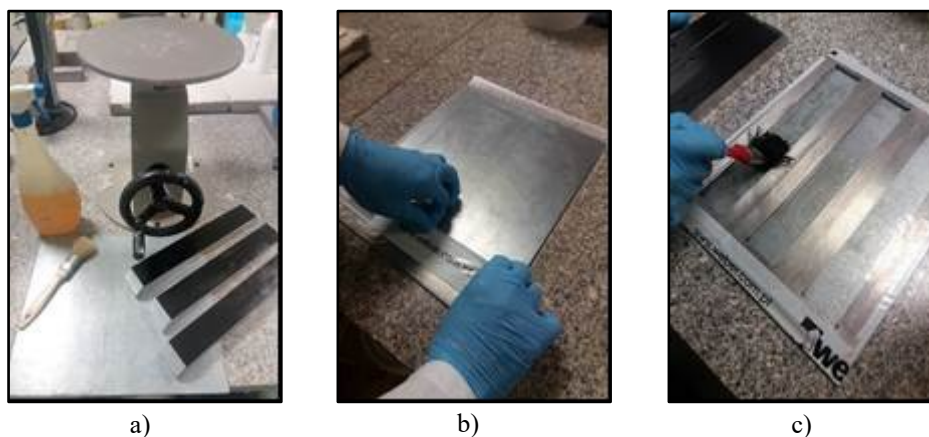


Figura 12 - Deformação transversal: a) Material necessário; b) Colagem de película de polietileno ao suporte rígido; c) Aplicação de óleo desconfrante

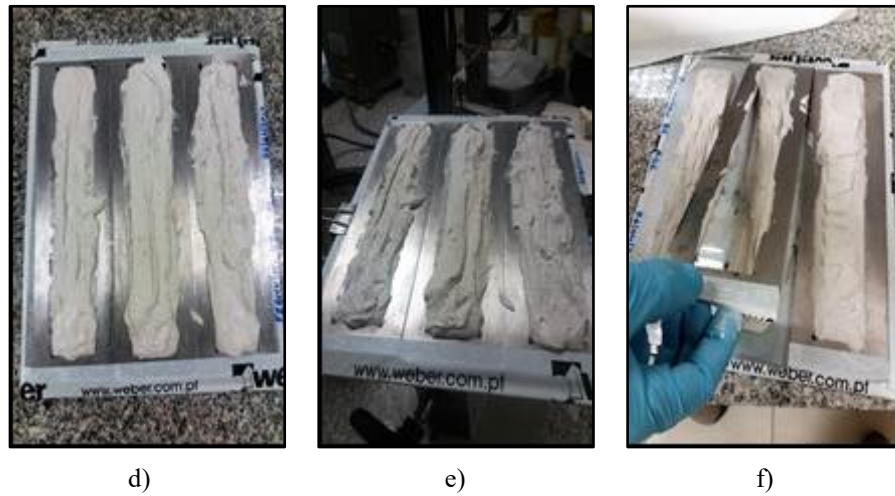


Figura 13 – Deformação transversal: d) Preenchimento dos moldes; e) Aplicação das 70 pancadas; f) Remoção dos moldes

De seguida, aplica-se óleo descofrante nos moldes de politetrafluoretileno, posicionando estes sobre a argamassa de modo a obter-se provetes de dimensões $300 \pm 1 \text{ mm}$ por $45 \pm 1 \text{ mm}$ e espessura de $3 \pm 0,05 \text{ mm}$. Colocam-se sobre os moldes pesos de seção $290 \times 45 \text{ mm}$, com uma força de $100 \pm 1 \text{ N}$, para garantir que o material preencha totalmente o molde. Remove-se o excesso de material das laterais dos moldes e retira-se peso 60 minutos depois (figura 14).

Após 48 horas, retiram-se os moldes e colocam-se os provetes na câmara de cura ($23 \pm 2^\circ \text{C}$ e $50 \pm 5\%$), dentro de um recipiente de plástico, de modo a torná-lo estanque. Retira-se do recipiente de plástico 12 dias depois deixa-se na câmara de cura mais 14 dias.

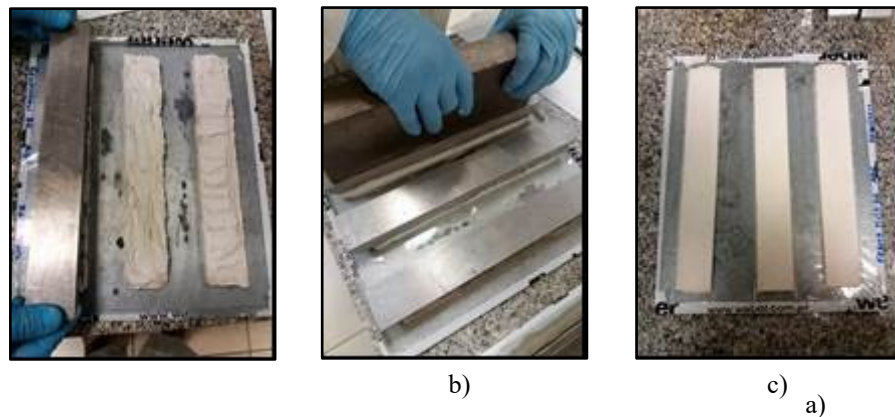


Figura 14 - Deformação transversal: a) Aplicação dos moldes; b) Colocação dos pesos; c) Provetes;

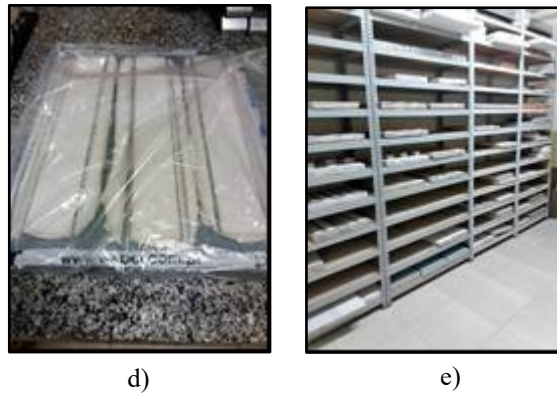


Figura 15 - Deformação transversal: d) Colocação dos provetes no recipiente de plástico; e) Colação das amostras na camara de climatização

Decorrido o processo de cura, pesa-se e mede-se a espessura do provete em três pontos (no centro e a 50 ± 1 mm a partir de cada extremidade) utilizando um paquímetro de precisão 0,05 mm, estes devem estar dentro da tolerância requerida, $3,0 \pm 0,1$ mm. Por fim calcula-se a média das três medidas.

Coloca-se as amostras na máquina de deformação transversal, que aplica uma carga transversal a uma velocidade constante de 2 mm/min, até que ocorra a rutura do provete medindo a deformação (mm) e a força (N) aplicada.

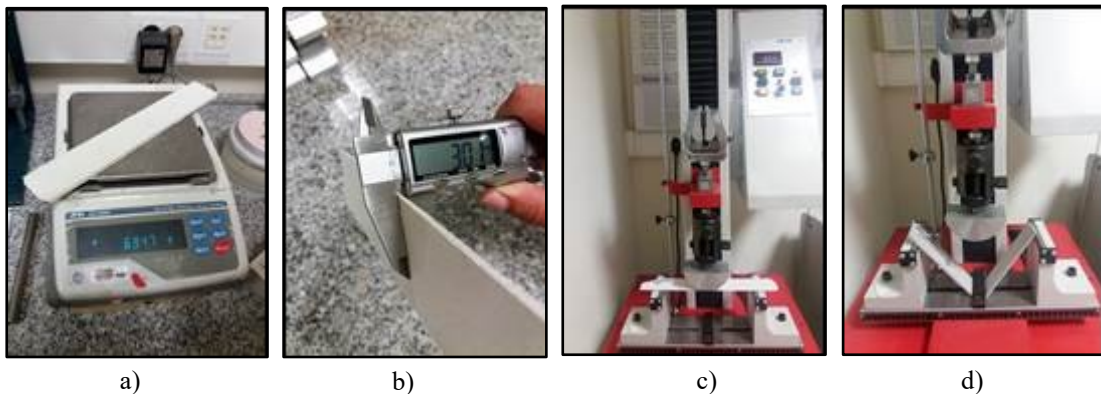


Figura 16 - Deformação transversal: a) Medição das massas; b) Medição dos provetes; c) Colocação e ajuste do provete na máquina; d) Rutura do provete

Posteriormente é calculada a resistência à flexão (MPa) o módulo de elasticidade (MPa) através das equações seguintes.

Resistência à flexão:

$$\sigma = \frac{1,5 PL}{bh^2}$$

Equação 8

Módulo de elasticidade:

$$\varepsilon = \frac{PL^3}{4\delta bh^3}$$

Equação 9

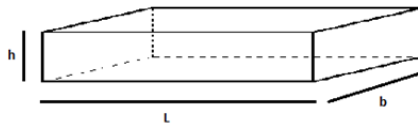


Figura 17 - Deformação transversal:
medidas do provete

Em que:

σ – tensão (MPa)

P – força (N)

δ – alongamento (mm)

L – largura (mm)

b – base (mm)

h – espessura (mm)

5.2.3 Tração pura

A resistência de um material depende da sua capacidade de suportar uma carga. Esta propriedade é inerente ao próprio material, sendo o ensaio de tração um dos mais importante, a realizar para o estudo do material. Embora muitas propriedades mecânicas possam ser estudadas a partir deste método, ele é principalmente usado para determinar a relação entre a tensão e a deformação do material. (Hibbeler, 2010)

O ensaio de tração consiste em submeter material a um esforço capaz de esticar ou alongar o mesmo. Normalmente, este ensaio é realizado com provetes de dimensões padronizadas para que os resultados obtidos possam ser comparáveis. O provete é preso às garras de fixação da máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção

axial, sendo medidas as suas deformações correspondentes até à sua rutura. (Souza, 2000)

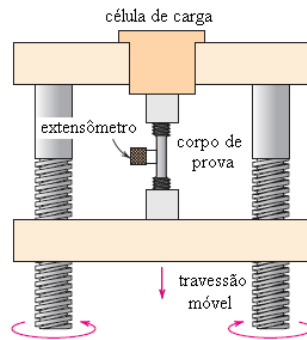


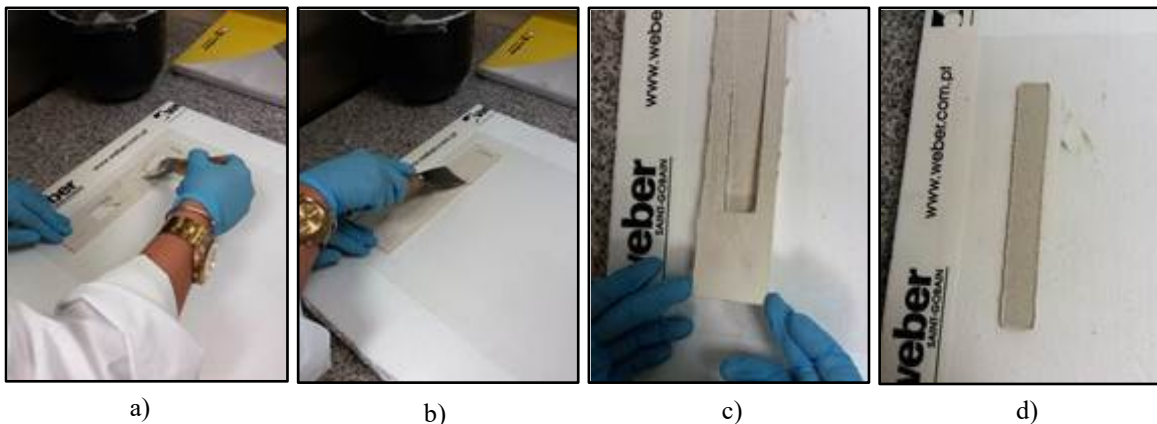
Figura 18 - Esquema do ensaio de tração pura

Para a preparação dos provetes, fixa-se uma película de polietileno com o auxílio de uma fita adesiva a superfície lisa. De seguida fixa-se o molde com dimensões internas de 160 ± 1 mm por 20 ± 1 mm e espessura de $3 \pm 0,1$ mm e aplica-se o produto.



Figura 19 - Tração pura: a) Preparação da base; b) Molde para provete

Com o auxílio de uma espátula, retira-se o excesso de produto e alisa-se, de forma a que o provete fique o mais nivelado possível. Retira-se o molde e coloca-se os provetes numa câmara climatizada com condições de cura padrão (temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $50 \pm 5\%$), durante 28 dias.



Após o processo de cura, mede-se os provetes (comprimento, largura e espessura) e inicia-se o ensaio de tração com uma velocidade de 10mm/min.

À medida que o ensaio decorre, fica registado os valores da carga aplicada bem como o alongamento que o material está a sofrer.



Figura 20 - Ensaio de tração: a) Aplicação do produto; b) Espalhamento de produto; c) Desmolde; d) Provete final

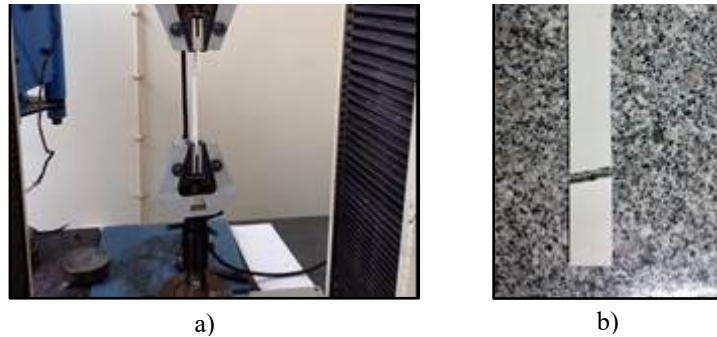


Figura 21 - Ensaio de tração: a) Provete em ensaio, b) Provete após o ensaio

A máquina de ensaios fornece os resultados em Força (N) em função do Deslocamento (mm). Obtém-se o diagrama tensão-deformação através das seguintes equações:

$$\sigma = \frac{P}{bxh} \quad \text{Equação 10}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \quad \text{Equação 11}$$

Em que:

σ – Tensão (N/mm^2)

P – Força (N)

b – Base (mm)

h – Espessura (mm)

ε – Deformação (mm)

δ – Alongamento (mm) – ($\delta = L - L_0$)

L_0 – Comprimento inicial (mm)

5.2.4 Cisalhamento - Aderência ao corte

A tensão de cisalhamento ocorre quando uma peça é submetida a uma força F , atuando transversalmente ao seu eixo, produzindo um cisalhamento (corte), como se pode ver na figura seguinte (Materiais, 2011).

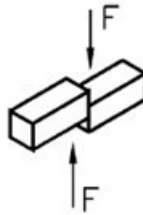


Figura 22 - Esquema do ensaio de corte

Tal como nos ensaios de tração, quando o material é submetido ao cisalhamento, têm um comportamento linear-elástico e terá um limite de proporcionalidade τ_{lp} , bem definido. Ocorre também o endurecimento por deformação até que seja atingido o limite de resistência de cisalhamento τ_r e por fim, a rutura do material τ_{ru} (figura 22).

A força de corte é a componente tangencial da força que atua sobre a superfície que, dividida pela área da superfície, dá origem à tensão de corte média, como se pode ser na equação seguinte.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 12}$$

Em que:

τ = Tensão de corte média

F = Força cortante total

A = Área cortante

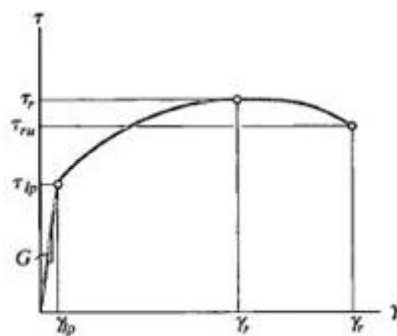
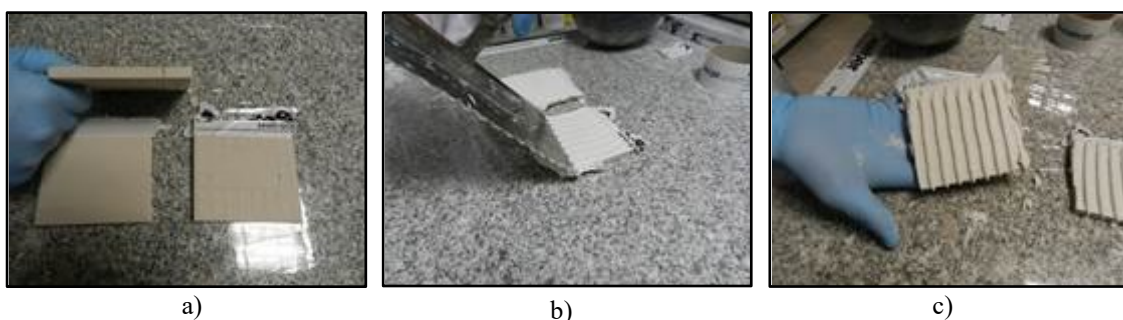


Figura 23 - Exemplo do gráfico tensão-deformação quando um material dúctil é submetido ao cisalhamento

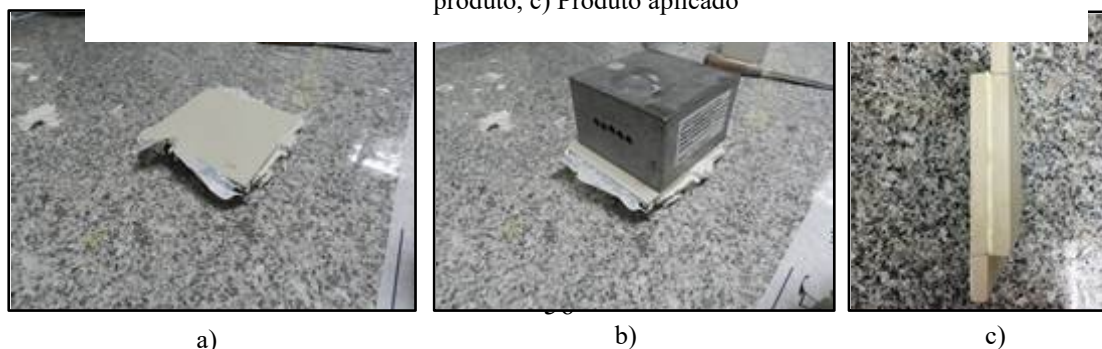
O método de ensaio para a determinação tensão de aderência ao corte no caso das resinas, tem como base a EN 12003- *Determination of shear adhesive strenght of reaction resin adhesives*.

Para a formulação dos provetes, utilizou-se ladrilhos cerâmicas vitrificados do tipo V1, de classe de absorção B1a e com dimensão facial de $100\pm 1\text{mm}$ por $100\pm 1\text{mm}$ e de espessura $10\pm 1\text{mm}$. Para cada provete, são necessários dois ladrilhos, que devem ser colados um ao outro, com o produto em estudo. Inicialmente, veda-se $20\pm 1\text{mm}$ de um dos lados dos ladrilhos com fita adesiva. De seguida, após a mistura da argamassa cola, aplica-se esta de forma uniforme na face do ladrilho com uma talocha dentada (6x6mm), inclinada 60° em relação ao suporte. O “penteado” deve ser feito em direções opostas em cada um dos ladrilhos como podemos ver as figuras seguintes (CEN, 2008) .



De seguida, sobrepõe-se os dois ladrilhos, com o penteado cruzado, e de forma a deixar livre a superfície com fita adesiva. Aplica-se cuidadosamente durante 3 minutos uma carga de $50\pm 0,15\text{N}$. Por fim retira-se a fita adesiva e coloca-se os provetes na câmara de cura à t

Figura 24 - Ensaio de corte: a) Colagem de fita adesiva nos ladrinhos; b) Aplicação do produto, c) Produto aplicado



Depois de colocar os provetes a ensaiar na maquinha de corte, esta deve exercer uma carga com velocidade de 5mm/min, até à rutura do provete.

Na avaliação dos resultados, divide-se o valor da força (N) pela área de contacto com a cola (8000mm^2). Deve ainda ser feita uma média de todos os valores registados e eliminar os que sejam 20% maiores ou menores que a mesma.

Figura 25 - Ensaio de corte: a) Junção dos ladrilhos; b) Aplicação da carga; c) Provete final

5.2.5 Dureza Shore D

Em 1907, Shore propôs uma medida de dureza por choque que mede a altura do ressalto de um peso que cai livremente até bater na superfície lisa e plana de um corpo de prova. Essa altura mede a perda da energia cinética do peso, absorvida pelo corpo de prova. Este método é conhecido por dureza escleroscópica ou dureza de Shore (Fredel et al., 2015).

Os ensaios de dureza podem ser divididos em três tipos principais: por penetração, por choque ou por risco. Neste caso foi realizado o ensaio de dureza por choque. Este método de avaliação contempla vários tipos de dureza que dependem, principalmente, dos tipos de materiais e da geometria do indentador, tal como esta definido na norma ASTM D2240 - *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness* (ASTM, 2015).

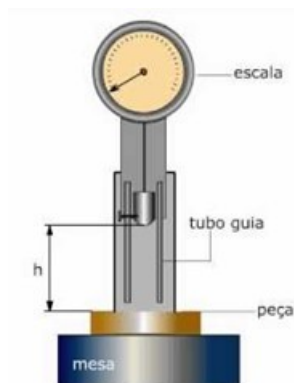


Figura 26 - Esquema de um durómetro Shore D

Neste ensaio, o durómetro mede a resistência à penetração através de um indentador, ao qual é aplicada uma força sobre a superfície do material em estudo. O deslocamento

vertical do penetrador é convertido em um valor de dureza de Shore numa escala que varia de 0 a 100, correspondendo à penetração máxima e nula respetivamente.

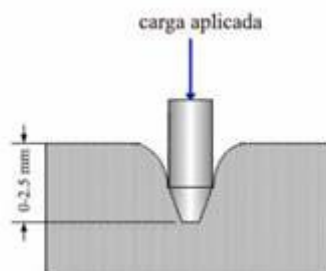


Figura 27 - Esquema do indentador do durómetro

Para a realização do ensaio, as amostras devem ter a superfície o mais plana possível e uma espessura mínima de 6mm. As indentações devem ser feitas com uma distância mínima de 12mm da margem da amostra.

Para produzir as amostras necessárias para o ensaio, criou-se um molde em gesso com as medidas necessárias. Para cada material em estudo fez-se 5 provetes de dimensão $50\pm 1\text{mm}$ por $50\pm 1\text{mm}$ com espessura de 7 mm.



Figura 28 - Exemplo do provete para o ensaio de dureza

Após 28 dias de cura dos provetes a $23\pm 2^\circ\text{C}$ e $50\pm 5\%$ iniciou-se a medição da dureza. Inicialmente colocou-se o provete horizontalmente sobre uma superfície horizontal dura e segurou-se o durómetro numa posição vertical, com a ponta do indentor a pelo menos 9 mm das arestas do provete. Aplicou-se pressão sem causar choque, mas apenas a necessária para encostar as faces do provete e do durómetro e fez-se a leitura após se estabelecer contacto firme entre as superfícies 15 segundos.

Realiza-se 5 medições em posições afastadas a pelo menos 6 mm umas das outras e calcula-se o valor médio.

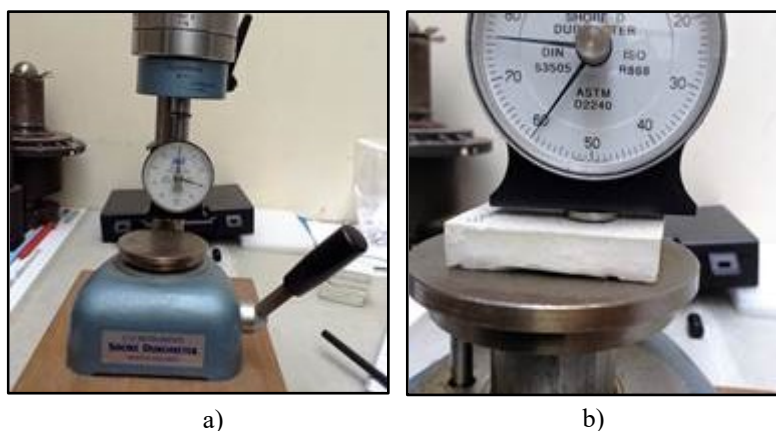


Figura 29 – Dureza de Shore: a) Durómetro; b) Ensaio do provete

Os resultados são expressos em classes de valores adimensionais e quando maior o seu valor, mais duro é considerado o material.

5.2.6 Impacto – Ensaio de Charpy

O ensaio de impacto é um dos primeiros e, até hoje, um dos mais utilizados para o estudo da fratura frágil dos materiais. O ensaio de Charpy, consiste na aplicação de uma flexão do corpo de prova por impacto de um martelo pendular na face oposta à que se localiza o entalhe. Calculando a energia do martelo antes e depois do impacto, é possível determinar a energia que o material absorveu durante a sua deformação e rotura (Fredel et al., 2015).

Os provetes são padronizados e são providos de um entalhe para localizar a rutura e produzir um impacto triaxial de tensões (tensão radial ao entalhe, longitudinal e transversal), quando é submetido a uma flexão após o impacto do martelo. A energia absorvida é uma medida da resistência ao impacto que, quanto maior for, mais frágil será o comportamento do material relativamente à solicitação dinâmica (Souza, 2000).

Os provetes utilizados para o ensaio de Charpy compreendem três subtipos: A, B e C, de acordo com a forma do entalhe. As diferentes formas de entalhe são necessárias para assegurar que haja rutura do corpo de prova, mesmo nos materiais mais dúcteis, sendo que neste caso a tipologia utilizada foi a A.

Para a produção dos provetes, criou-se um molde em silicone, com as dimensões e a forma exigidas para o ensaio, como podemos ver na figura seguinte.

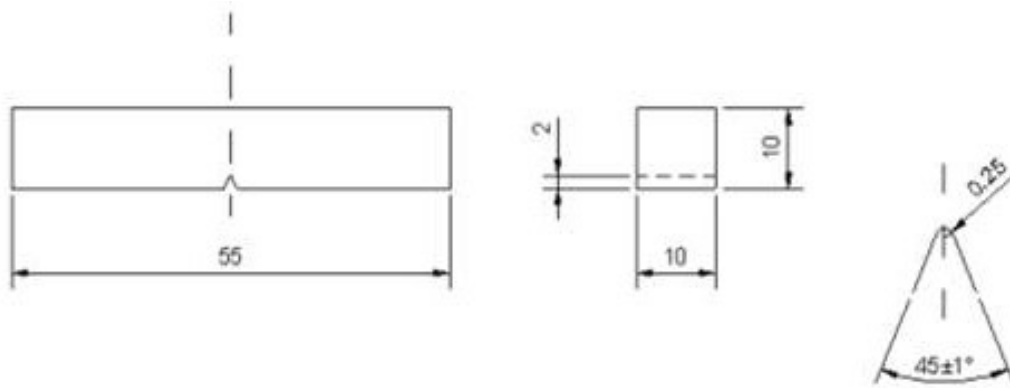


Figura 30 - Características geométricas do provete para o ensaio Charpy – tipo A

Após a secagem dos moldes, prepara-se o material em estudo e enche-se os moldes. Para certificar que o produto está bem compactado, coloca-se o conjunto de moldes numa mesa compactadora e aplicam-se 70 pancadas, retirando no fim o material em excesso.

Após 48 horas, desmoldam-se os provetes e colocam-se na câmara de cura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$).

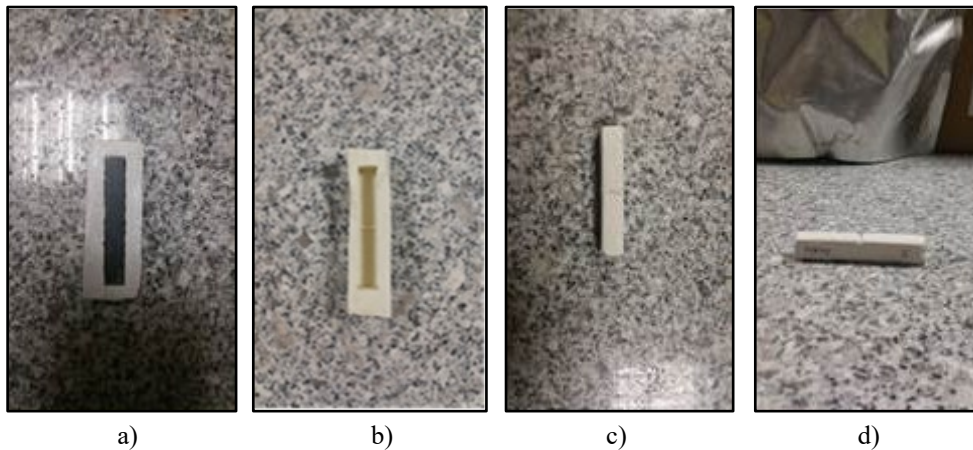


Figura 31 - Ensaio de Charpy: a) Molde com provete modelo, b) Molde final; c) e d) Provetes final

Para a execução do ensaio, o corpo de prova é fixado na máquina e solta-se o martelo, como se pode ver na figura seguinte.

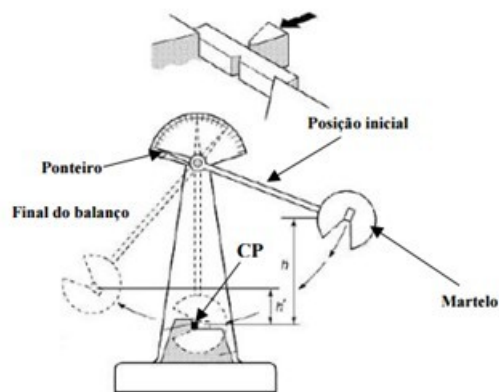


Figura 32 - Esquema de uma máquina pendular de impacto Charpy

Depois de bater no provete, o martelo sobe até uma altura que é inversamente proporcional à energia absorvida para deformar e romper o provete. Quanto menor for a altura atingida pelo martelo, mais energia o provete terá absorvido. O ensaio só é válido se houver separação total das partes do provete e no caso de isso não acontecer, deve-se aumentar a altura do pêndulo.

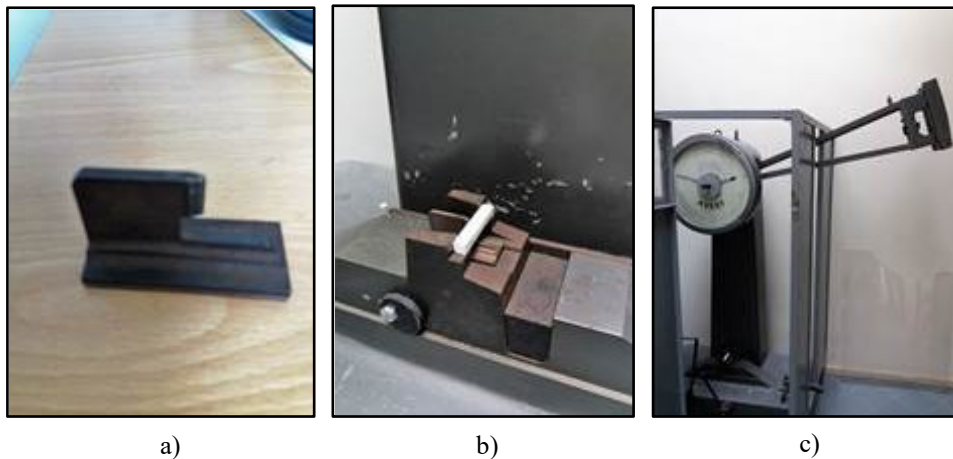


Figura 33 - Ensaio de Charpy: a) Entalho; b) Provete antes do impacto; c) Martelo na altura inicial

Os resultados são expressos pela energia absorvida no impacto (J) e pela resistência ao impacto (kJ/m^2).

5.3 Argamassas de Impermeabilização

5.3.1 Tração perpendicular uniaxial

O método de determinação da resistência à tração perpendicular, tem como base a EN 14891:2015 *Produtos impermeáveis à água para aplicação na forma líquida sob ladrilhos cerâmicos colados*.

Para este estudo, ensaiou-se os produtos com três variáveis diferentes. Uma apenas com o produto, outra com a aplicação de rede em fibra de vidro ($2 \times 2 \text{ mm} / 160 \text{ g/m}^2$) e outra com geotêxtil (60 g/m^2).

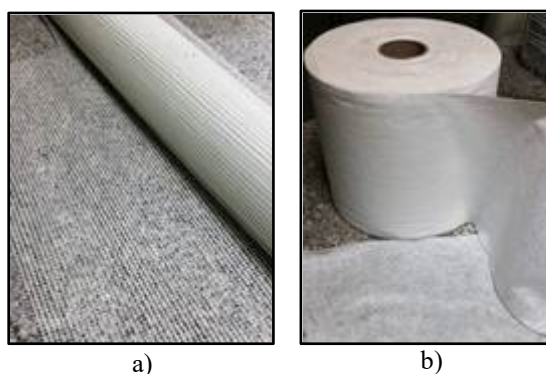


Figura 34: Sistemas de Reforço: a) Rede em fibra de vidro; b) Geotêxtil

A fibra de rede de vidro, confere ao sistema uma maior resistência e estabilidade, evitando o aparecimento de fissuras decorrentes provocadas pela variação de temperatura, do movimento do suporte ou até mesmo de microfissuras no mesmo. A rede contribui ainda para melhorar a resistência ao choque do sistema em que está incorporada.

O geotêxtil é uma manta não tecida cada vez mais utilizada na construção civil, tendo como finalidade proteger, separar e filtrar estruturas, áreas de terreno ou de obra. As suas principais vantagens são a criação um separador entre o terreno, a criação de uma membrana drenante e é também um incremento de proteção mecânica contra choques, desgaste e corrosão da água.

Para os produtos de ligante de base orgânica, aplicou-se a primeira camada em cada uma das três placas, com o auxílio de uma trincha e de seguida, aplicou-se o geotêxtil numa das placas e a rede em outra. Passado 24 horas aplica-se novamente uma camada de produto.

No caso dos produtos de ligante cimentício, aplica-se uma camada fina do produto com o auxílio de uma espátula. Aplica-se novamente uma camada mais grossa e penteia-se com uma talocha dentada 6x6mm.

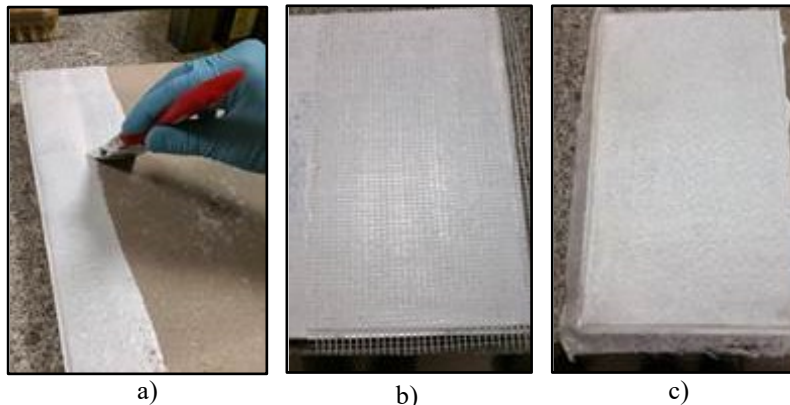


Figura 35 - Tração perpendicular: a) Aplicação da primeira camada; b) Aplicação da rede; c) Aplicação do geotêxtil

Coloca-se igualmente a rede numa das placas e o geotêxtil em outra. Passado 24 horas aplica-se novamente o produto, de forma a que este fique liso e plano.



Figura 36 - Tração perpendicular: Aplicação da camada final

Os provetes foram sujeitos a diferentes condições de cura, com o objetivo de simular condições extremas a que as argamassas possam ser expostas depois de aplicadas em obra. Estudou-se a tensão de aderências para as seguintes condições:

- Aderência inicial – a medição desta aderência é realizada ao fim de 7,14 e 28 dias de cura padrão.
- Aderência após imersão em água – após 7 dias sujeitos à cura padrão, os provetes são colocados 21 dias em água a uma temperatura de 23°C, sendo realizada de seguida a resistência à tração.

No dia anterior ao fim do tempo de cura, cola-se 5 peças metálicas por ensaio adaptadas à máquina de ensaio à tração, com dimensões de $50\pm 1\text{mm}$ por $50\pm 1\text{mm}$, com uma cola de alta resistência e volta-se a colocar os provetes nas condições de cura.

Após 24 horas, com o auxílio de um dinamômetro, determina-se a resistência à tração.

5.3.2 Tração pura

Para o estudo da tração nas argamassas de impermeabilização, optou-se por fazer três ensaios diferentes para cada produto.

Nos diferentes ensaios de tração, as velocidades e as dimensões dos corpos de prova variam. A forma do gráfico obtido pelo ensaio, pode ser afetada pela velocidade do carregamento, uma vez que alguns materiais podem apresentar um significativo aumento da resistência à tração quando as velocidades de carregamento são aumentadas (Fredel et al., 2015).

Os métodos testados foram um método interno adotado pela empresa, uma adaptação da norma ASTM D624:2012 - *Standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber and Thermoplastic Elastomers*”, do tipo C e outra adaptação igualmente da norma ASTM mas do tipo CP.

Para produzir os provetes necessários, inicialmente cola-se *teflon* autocolante a uma superfície plana, vendando esta de seguida com uma fita isoladora, de forma a vedar o produto, como se pode ver na figura seguinte.



Figura 37 - Molde para os ensaios de tração

De seguida, aplica-se o produto conforme as indicações do fornecedor e alisa-se, com o auxílio de uma espátula, de forma a que a superfície fique plana.

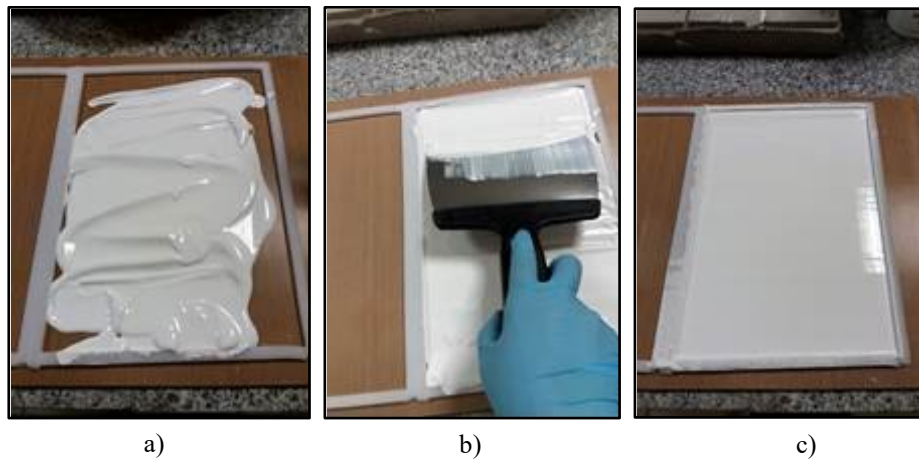


Figura 38 - Ensaio de tração: a) Aplicação do produto, b) Alisamento do produto, c) Produto depois de aplicado

Após 48 horas desmolda-se o produto e coloca-se na câmara de cura ($23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$) durante 12 dias.

5.3.2.1 Método interno

No ensaio de tração submete-se o corpo de prova a um esforço, que tende a alongá-lo até a sua ruptura. Este ensaio permite conhecer o comportamento dos materiais, como reagem sob este tipo de esforço e a sua ruptura.

Após a cura das telas, procede-se ao corte das mesmas, formando provetes de dimensão $15 \pm 1\text{mm}$ por $30 \pm 1\text{mm}$ e espessura de $1 \pm 0,05\text{mm}$.

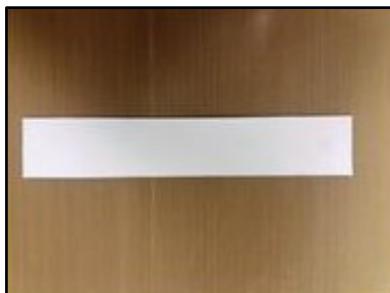
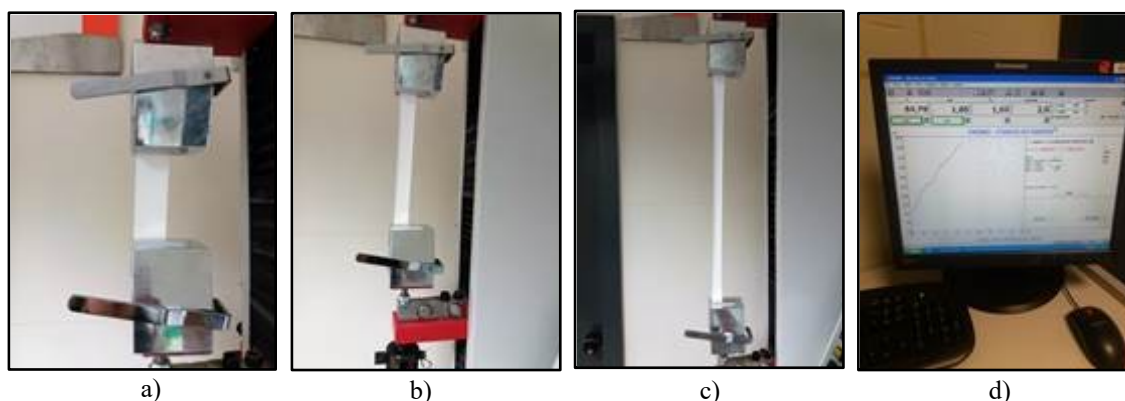


Figura 39 - Provede final - ensaio tração pelo método interno

Inicia-se o ensaio na máquina de tração Hoytom CV-PV, com uma velocidade de 10mm/min , registrando os valores da força aplicada e da deformação que sofreu.



No final, obtém-se uma curva de tensão-deformação e aplicam-se as equações discutidas na secção 4, para o calculo da tensão, dos módulos de elasticidade, resiliência e tenacidade.

Figura 40 - Ensaio de tração: a) b) c) Ensaio dos provetes pela norma interna, d) Valores dados pela máquina de ensaio

Para caracterizar adequadamente elastômeros/termoplásticos e materiais termoendurecíveis, o conhecimento de suas propriedades de rutura é essencial. Uma falha comum desses materiais, conhecida como “lágrima”, é um processo de rutura mecânica que é iniciado e propagado num local de alta concentração de tensão causada por um corte, defeito ou uma deformação localizada.

A norma ASTM D624- *Standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber and thermoplastic elastomers*, descreve os procedimentos e métodos de ensaio para medir a resistência à rutura dos elastômeros termoplásticos.

Neste procedimento, uma tensão é aplicada a um provete através de uma máquina de teste universal que opera a uma velocidade constante até que a amostra esteja completamente rasgada. A força que a lágrima sofre é influenciada pela anisotropia induzida pelo esforço, distribuição da força, taxa de deformação e tamanho do provete. Portanto, os resultados obtidos no ensaio devem ser considerados apenas como uma medida sob as condições desse ensaio específico e podem ser diferentes do desempenho real em serviço desse material (Elastomers, 2010).

Após a cura das telas, procede-se ao corte das mesmas, com as características se pode ver no esquema seguinte:

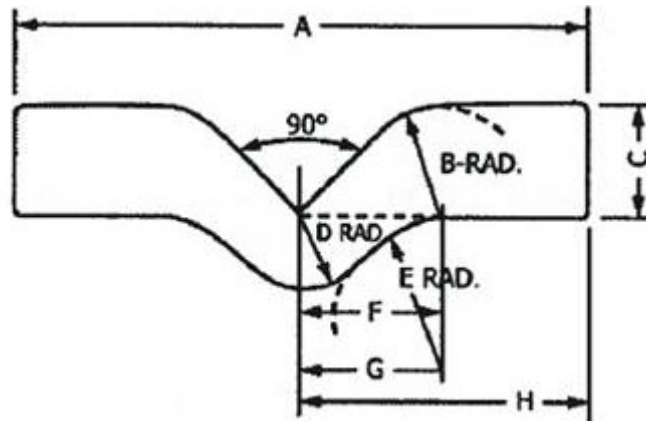


Figura 41 - Medidas para provete tipo C da ASTM D624

Em que:

- $A = 102 \pm 0.50 \text{ mm}$
- $B = 19 \pm 0.05 \text{ mm}$
- $C = 19 \pm 0.05 \text{ mm}$
- $D = 12.7 \pm 0.05 \text{ mm}$
- $E = 25 \pm 0.05 \text{ mm}$
- $F = 27 \pm 0.05 \text{ mm}$
- $G = 28 \pm 0.05 \text{ mm}$
- $H = 51 \pm 0.25 \text{ mm}$



Figura 42 – Tração pura: a) Desenho dos provetes; b) c) provetes finais ASTM D624

De seguida, inicia-se o ensaio na máquina de tração Hoytom CV-PV, com uma velocidade de $500 \pm 50 \text{ mm/min}$

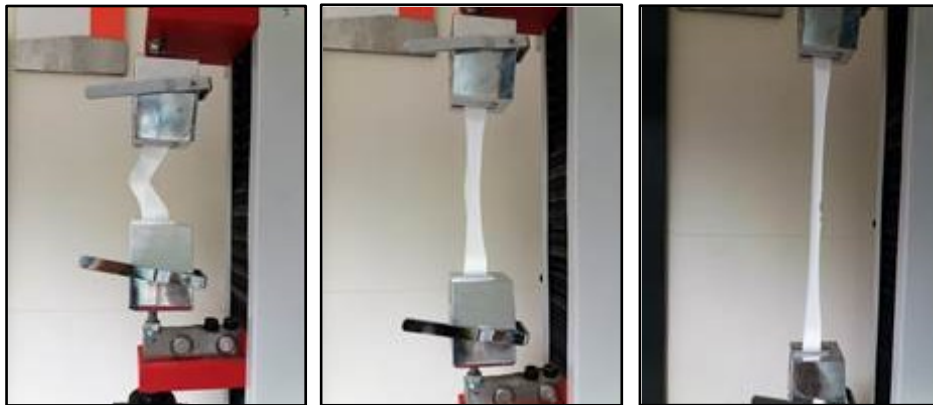


Figura 43 - Ensaio dos provetes tipo C da ASTM D624

Também neste caso, são determinadas os mesmos parâmetros seguindo as mesmas equações inticadas anteriormente.

5.3.2.3 ASTM D624 – Tipo CP

Após a cura das telas, procede-se ao corte das mesmas, com as características se pode ver no esquema seguinte:

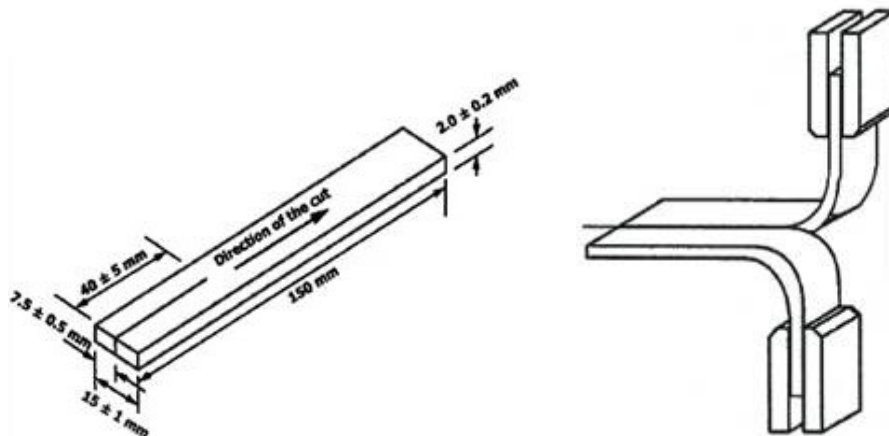


Figura 44 - Medidas para provete tipo CP da ASTM D624



Figura 45 - Provette final tipo CP ASTM D624

De seguida, inicia-se o ensaio na máquina de tração Hoytom CV-PV, com uma velocidade de $50 \pm 5 \text{ mm/min}$.



Figura 46 - Ensaio dos provetes tipo CP da ASTM D624

Os resultados são expressos em diagramas de tensão-deformação.

5.3.3 Torção

Entende-se por torção quando se submete um determinado objeto a forças que atuam num plano perpendicular ao eixo de tal forma que cada seção transversal do objeto sob ação do esforço tende a girar em relação às outras.

É um esforço mecânico aplicado em rotação, sendo que muitas vezes o material não suporta esse esforço e acaba por ceder. É utilizado para medir o quanto o material pode dobrar até que fissure ou ceda, sendo a pressão aplicada designada por torque.

As telas de proteção em coberturas de edifícios são submetidas a esforços combinados e fortemente localizados (efeito mecânico de sólidos contundentes). As consequências são o rasgamento das telas, o qual pode prosseguir ou não conforme a intensidade de cargas adicionais.

Para este estudo, comparou-se a membrana com e sem reforço, neste caso rede em fibra de vidro (2x2mm), sendo três de base orgânica e uma de natureza cimentícia.

Para a produção das amostras, utilizou-se uma metodologia semelhante às amostras dos ensaios à tração.

Aplica-se a primeira camada sobre o *teflon* autocolante, com o auxílio de uma trincha e de seguida, aplica-se a rede. Passado 24 horas aplica-se novamente uma camada de produto, alisando com uma espátula, de modo a que superfície fique lisa e plana.

Após 48 horas desmolda-se o produto e coloca-se na câmara de cura ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 5\%$) durante 26 dias.

A figura seguinte mostra a montagem da tela na Shimadzu® Autograph antes de se proceder ao ensaio.



Figura 47 - Ensaio de torção: amostra colocada na máquina (Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro)

Pretende-se efetuar um teste de torção combinada em vários tipos de telas utilizando a máquina Shimadzu® Autograph de 50 kN e um equipamento especial de rotação do provete tela. Este teste de torção terá um elevado ângulo de rotação, pois o objetivo é investigar o modelo de dano levando o provete até à sua inutilização total, semelhante ao movimento do rasgar de um tecido ou tela.

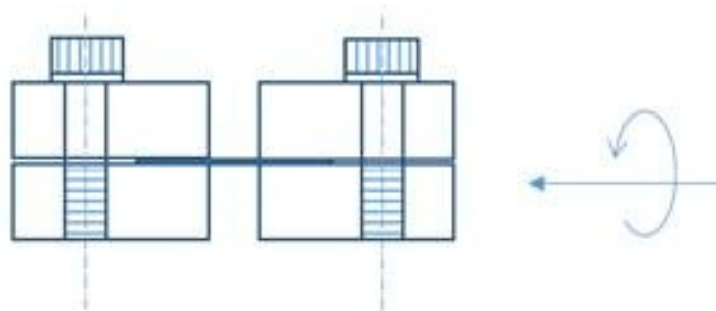


Figura 48 - Pormenor das maxilas de montagem do provete (ações de tração e torção representadas)

Os resultados são expressos por um diagrama de torção, momento torsor ($N.m$) vs. ângulo de torção ($^{\circ}$) e será dado relevo ao memento máximo e respetivo ângulo equivalente

5.3.4 Dureza de Shore

Como vimos anteriormente, a dureza de Shore divide-se em várias escalas, sendo a escala A e D as mais utilizadas. O durómetro de Shore A é específico para a medição da dureza de borrachas/elastómeros, ou seja, produtos mais moles enquanto a escala D é usada para materiais mais duros.

Neste caso, usou-se a escada A para as argamassas de base orgânica e a escala D para argamassas de base cimentícia.

Para produzir o provete, utilizou-se a mesma metodologia que para as argamassas cola.



Figura 49 - Ensaio da Dureza de Shore

Também neste caso, os resultados são apresentados em classes de valor adimensionais, quando maior o seu valor, maior a sua dureza.

Capítulo 6

Apresentação e discussão dos resultados

6. Apresentação e Discussão dos Resultados

6.1 Caracterização das argamassas-cola

6.1.1 Avaliação da tensão de aderência

A avaliação da resistência à tração perpendicular das argamassas cola em estudo, de base cimentícia e de base orgânica (epóxi, poliuretano bi-componente e poliuretano monocomponente) foi realizada em diferentes condições de cura, nomeadamente, 7 dias em condições padrão (23°C e 50%HR), após imersão em água, envelhecimento por ação de calor e aderência a quente.

Na figura 50 apresenta-se os valores obtidos para a tensão de aderência aos 7 dias, após a imersão em água, a quente e ao calor após arrefecimento.

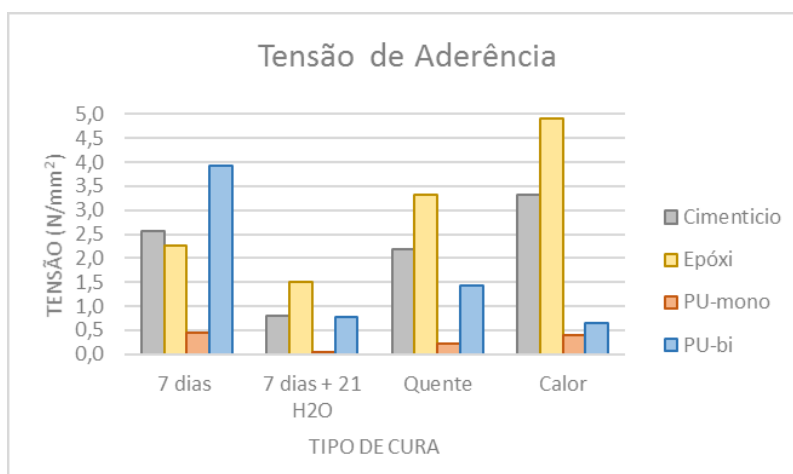


Figura 50 - Tensão de aderência aos 7 dias, 7+21H₂O, a quente e ao calor após arrefecimento

A partir da análise do gráfico da figura 50, é possível observar que as argamassas PU-monocomponente apresenta os menores valores para qualquer condição, o que já se previa por não se tratar de uma argamassa desenvolvida com o propósito de colagem de elementos cerâmicos. A argamassa constituída por resina de poliuretano bi-componente apresenta um desempenho melhor em cura normal, por outro lado em condições de imersão, a argamassa com resina epoxídica é a que apresenta melhores resultados.

Optou-se por comparar os valores das argamassas sujeitas a envelhecimento por aquecimento, com a placa já arrefecida e com a placa a quente, com o objetivo de simular as condições a que as colas estão sujeitas quando se encontram numa fachada

exposta ao sol e por analogia com a metodologia normativa relativa à tensão de corte requerida pela EN12004 para argamassas de reação. É possível verificar que os valores das tensões de aderências são inferiores a quente, comparativamente com as colas já arrefecidas, exceto na argamassa de resina de poliuretano bi-componente.

Para a generalidade das situações, as colas de base cimentícia e epóxi apresentam resultados superiores de aderência, relativamente aos produtos de base de poliuretano.

Segundo a EN 12004, as argamassas sofreram o seguinte tipo de rutura:

Tabela 13 -
segundo a

Tipos de rutura
EN12004

	Epóxi	PU mono	Cimentício	PU bi
7 dias	100%AFT	100%AFT	20% AFT 80% CTA	30%AFS 70% CFS
7dias + 21imersão	100%AFT	100%AFT	85% AFT 15% CTA	100% AFS
14dias+ 14Calor	50%CFS 50%CFT	100%AFT	60%CFA 40%CFT	90%AFS 10%CFS
14dias+ 14calor a quente	70%AFT 30%CFS	100%AFT	100%CFA	20%AFT 80%CFA

Sendo que:

- AFT- rutura adesiva entre o cimento cola e a peça cerâmica;
- AFS - rutura adesiva entre o cimento cola e o substrato;
- CFA - rutura coesiva no cimento cola;
- CFS - rutura coesiva no substrato;
- CFT - rutura coesiva na peça cerâmica;

Nas figuras seguintes pode observar-se o tipo de rutura das colas quando sujeitas as diferentes conduções de cura.



Figura 51 - Rutura após imersão: Cimentício, Poliuretano monocomponente, Epóxi e Poliuretano bi-componente respetivamente



Os resultados após imersão em água são tendencialmente inferiores para todos os casos, como resultado da provável degradação das componentes poliméricas das argamassas.

Isso é observado na Figura 52 - Rutura após calor: Cimentício, Poliuretano monocomponente, Epóxi e Poliuretano bi-componente, especialmente, quando o poliuretano é o ligante. Os resultados após ação do calor parecem estar relacionados diretamente com o comportamento dos seus polímeros (ligantes) à temperatura. Assim, produtos com base em polímeros termoendurecíveis como o epóxi implicam aderências superiores na condição em causa.

Considerando unicamente a aderência como fator de seleção, pode-se afirmar que a argamassa de epóxi é a que apresenta melhor comportamento no geral, seguida da argamassa cimentícia e finalmente, da argamassa PU-bicomponente que apresenta alguma preocupação em condições de temperaturas elevadas. A argamassa PU-monocomponente não é adequada para este objetivo.

6.1.2 Deformação transversal

O estudo da resistência à flexão das argamassas de colagem foi importante, uma vez que permitiu avaliar o comportamento do material ao nível da resistência à força de dobramento aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal.

Os resultados obtidos no ensaio de deformação transversal são apresentados no gráfico da figura 53 e na tabela 14. De salientar, que o ensaio para a argamassa de poliuretano monocomponente não foi realizado, uma vez que o produto é muito deformável e não oferece uma resistência significativa ao dobramento.

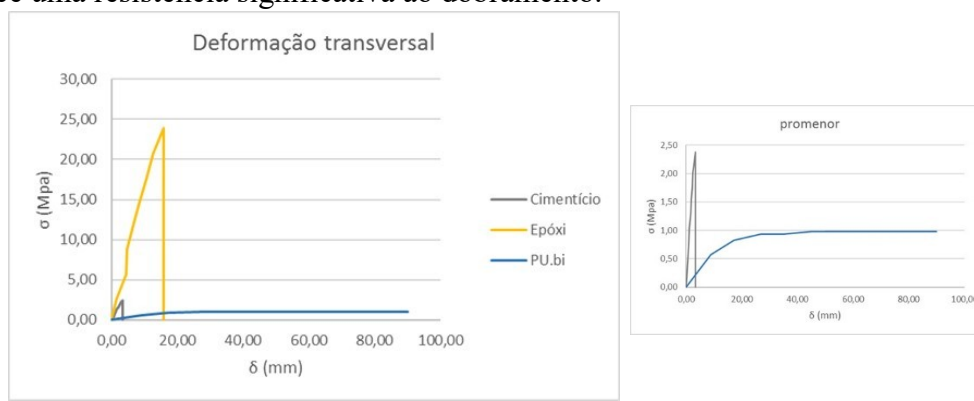




Figura 53- Gráfico tensão-deformação para o ensaio de deformação transversal

Através do ensaio de flexão a 3 pontos, determina-se o módulo de elasticidade dos materiais, utilizando a seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{PL^3}{4\delta bh^3} \quad \text{Equação 13}$$

Em que:

P = Força (N)

L = largura (mm)

δ = alongamento (mm)

b = comprimento (mm)

e = espessura (mm)

Tabela 14 – Resultados obtidos pelo ensaio de deformação transversal

Material	Deformação (mm)	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Epóxi	15,91	24,08	4139
PU-bi	90,00	0,79	26
Cimentício	3,57	2,37	3861

É possível observar que o produto que obtém melhor desempenho a nível da resistência à flexão é o Epóxi. Quanto ao Poliuretano bi-componente, devido a ser um material muito deformável, o provete não chegou à sua tensão de rutura, uma vez que a sua deformação chegou ao limite estabelecido pelo ensaio (90mm), como se pode ver na figura seguinte.

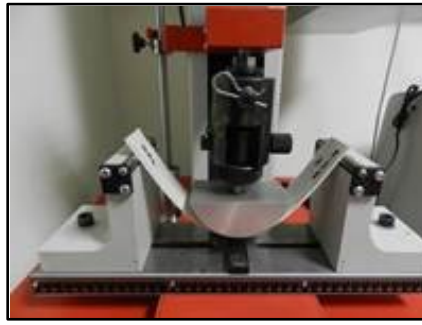


Figura 54 - Deformação transversal poliuretano bi-componente

Considerando o critério de seleção a capacidade de deformação de uma cola, admite-se que o produto PU-bicomponente apresenta o melhor comportamento, seguindo da argamassa de base epóxi e, finalmente, o produto cimentício que se apresenta como o material com uma capacidade de deformação baixa.

6.1.3 Comportamento à Tração

A avaliação da resistência à tração das argamassas cola em estudo, foi realizada na máquina *Autograph Shimadzu- AG-X1R* a uma velocidade de 10mm/min.

Para cada material foram testadas 5 amostras, mas devido à difícil aderência entre o provete e as garras da máquina de ensaio, nem todos os testes considerados no estudo.

Nas figuras seguintes são apresentados os gráficos de tensão-deformação obtidos.

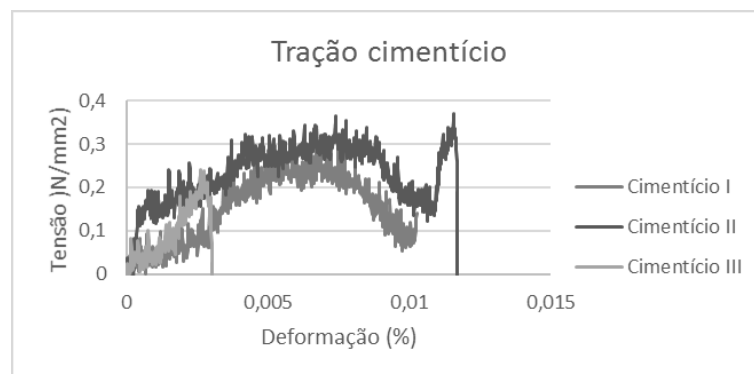


Figura 55 - Gráfico de tração da argamassa cimentícia

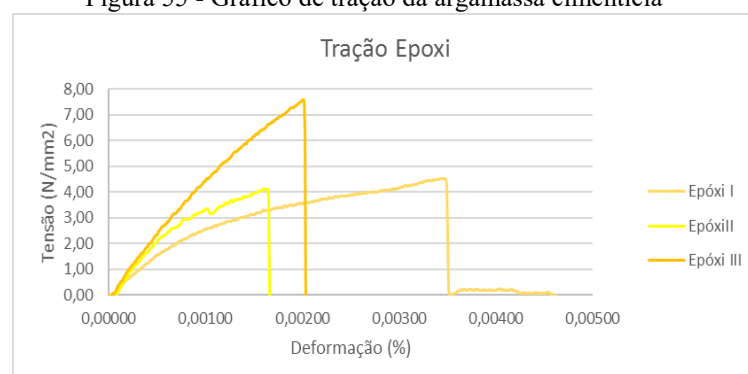


Figura 56 - Gráfico de tração argamassa epóxi

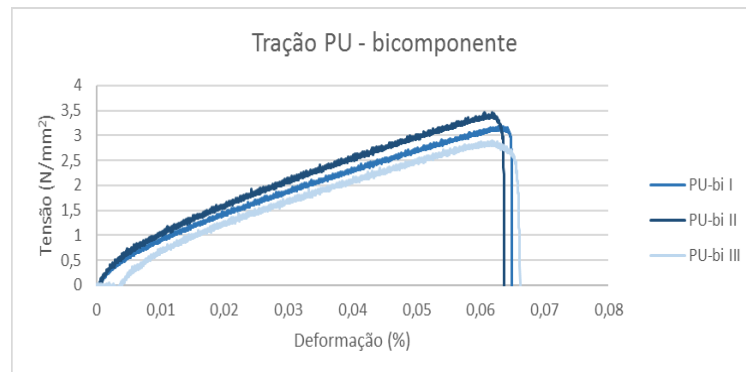


Figura 57 - Gráfico da argamassa poliuretano bi-componente

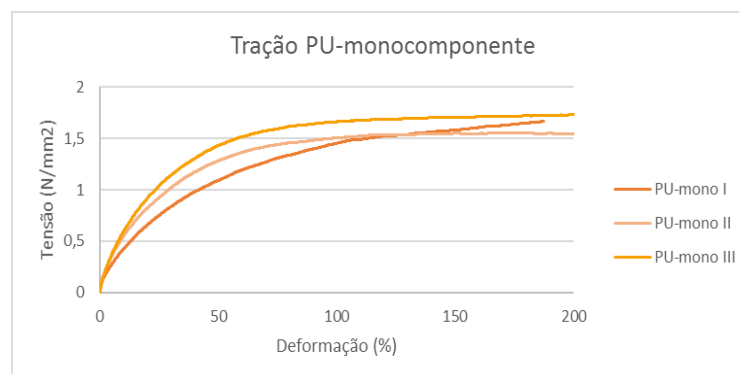


Figura 58 - Gráfico de tração PU-mono

De acordo os gráficos supramencionados, a menor resistência é registrada para a amostra de base cimentícia, sendo que estes resultados não correspondem ao real comportamento do material, uma vez que a sua rutura se deu sempre pelas garras da máquina de ensaio. Com a maior resistência apresenta-se a amostra de epóxi seguindo-se o poliuretano bi-componente a monocomponente.

Posto isto, como seria de esperar, os produtos com base em poliuretano apresentam maiores percentagens de deformação, uma vez que são materiais mais elásticos.

Comparando os resultados obtidos para a aderência por tração perpendicular aos 7 dias (pag.73), conclui-se que não é diretamente evidenciado a importância da aderência.

Com efeito, a tração pura não justifica a melhor opção para um material adequado à fixação de elementos. Ainda assim, existe alguma equivalência face aos produtos epóxi e PU-bi-componente.

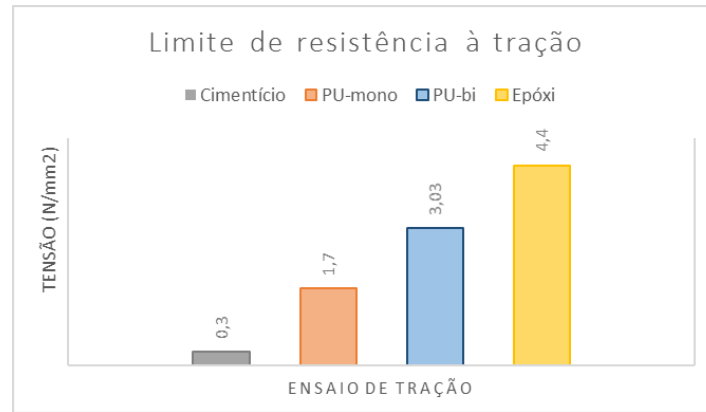


Figura 59 - Tensões máximas do ensaio de tração

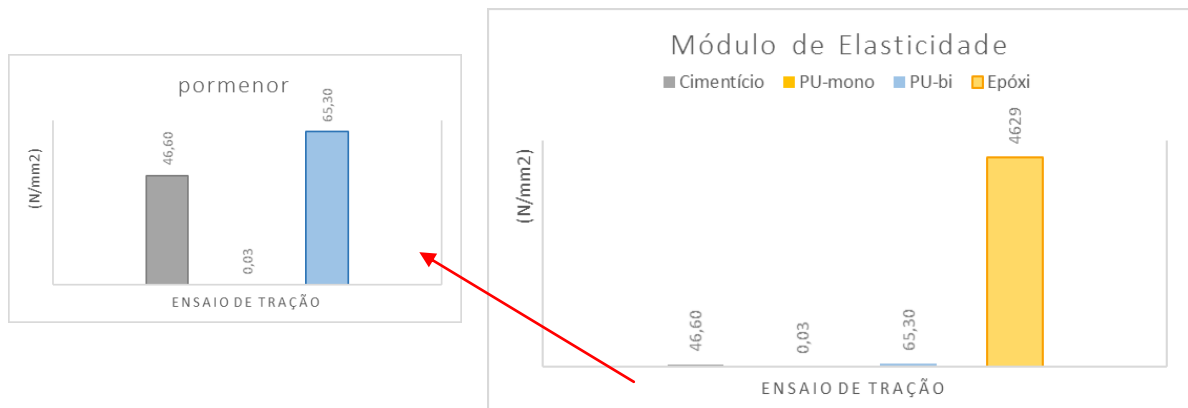


Figura 60 -Módulo de elasticidade das argamassas-cola

6.1.4 Resistência ao Corte

O presente ensaio foi realizado com base da norma ~~EN 12003 - Determination of shear adhesive strenght of reaction resin adhesives.~~

Os resultados obtidos no ensaio de corte, encontram-se apresentados seguidamente na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados do ensaio ao corte

	Tensão Máxima (MPa)	Deformação (adimensional)
Epóxi	8,15	0,03
PU mono.	0,20	0,03
Cimentício	2,74	0,04
PU bi.	4,62	0,08

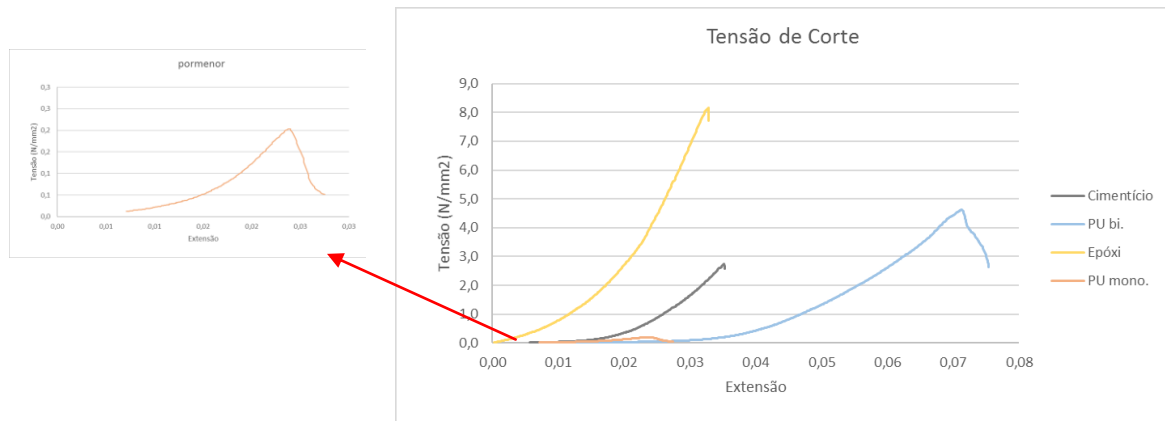


Figura 61 - Gráfico do ensaio de corte

Com base nos resultados do gráfico da figura 61, o epóxi apresenta uma maior tensão de corte, seguindo-se o poliuretano bi-componente, a cimentícia e por fim, o poliuretano monocomponente. Apesar do epóxi apresentar o maior valor de tensão, a sua extensão é pequena comparativamente com o poliuretano bi-componente.

Comparativamente aos resultados de aderência por tração após 7 dias, nota-se que não há concordância na tendência de resultados. Neste caso, é o produto epóxi que se destaca, seguido do PU bi-componente e do cimentício. Apenas o produto PU monocomponente, tal como anteriormente, também aqui se apresenta inadequado para a colagem de cerâmico. Esta diferença de conclusões entre estes ensaios é importante já que apresenta uma diferença entre propostas de metodologias europeias e americanas, pelo que se exige trabalhos mais exigentes de cooperação entre ambas.

6.1.5 Avaliação da Dureza

Para o ensaio de Dureza, utilizou-se o Shore D e testou-se 5 amostras de cada produto, sendo que, para cada uma delas, foram realizadas 5 picagens. Os resultados obtidos encontram-se na figura seguinte.

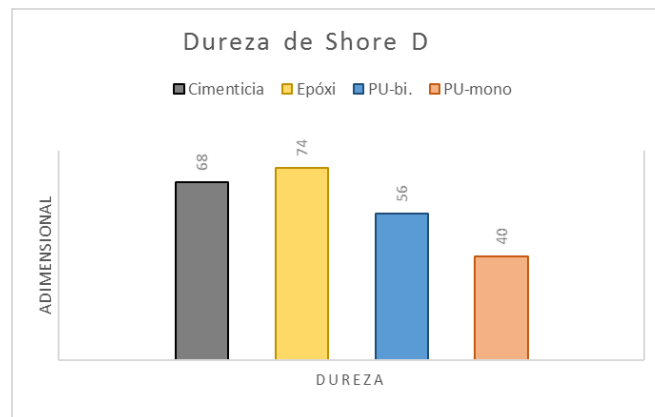


Figura 62 - Médias da Dureza de Shore D

Analisando os valores obtidos, é possível concluir que o epóxi é o material mais duro, seguindo-se a cimentícia, e os poliuretanos bi-componente e monocomponente respectivamente.

Considerando que estes materiais nunca estão diretamente expostos, já que estão sempre protegidos pelo cerâmico, admite-se que esta propriedade tem pouco relevância para a seleção de materiais com este efeito.

6.1.6 Resistência ao Impacto

Uma das propriedades mecânicas avaliadas nesta dissertação é a resistência ao impacto. Este ensaio é relevante pois avalia a resistência ao impacto dos materiais, sendo este um fator importante na seleção de materiais para aplicações de engenharia.

Para a realização do ensaio foi utilizada a posição superior do pêndulo (220ft.lb) e foram testadas cinco amostras de cada material. Determinou-se a energia absorvida na fratura (E_f) e a resistência ao impacto.

Tabela 16- Resultados do ensaio de impacto

Produto	Energia (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
Cimentício	2,17	65,75
Epóxi	2,98	90,40
PU-bi	1,36	41,09
PU-mono	n/r	n/r

* n/r = não representativo

A argamassa de poliuretano monocomponente não foi possível testar uma vez que era arrastada pelo pêndulo, devido a ser um produto bastante deformável.

Analisando-se a resistência ao impacto das restantes amostras, a argamassa de epóxi é a que apresenta maior energia absorvida e, portanto, um comportamento mais frágil em solicitação dinâmica, seguindo-se a cimentícia e a de poliuretano bi-componente.

Nas figuras seguintes, apresentam-se as superfícies de fratura após o ensaio.

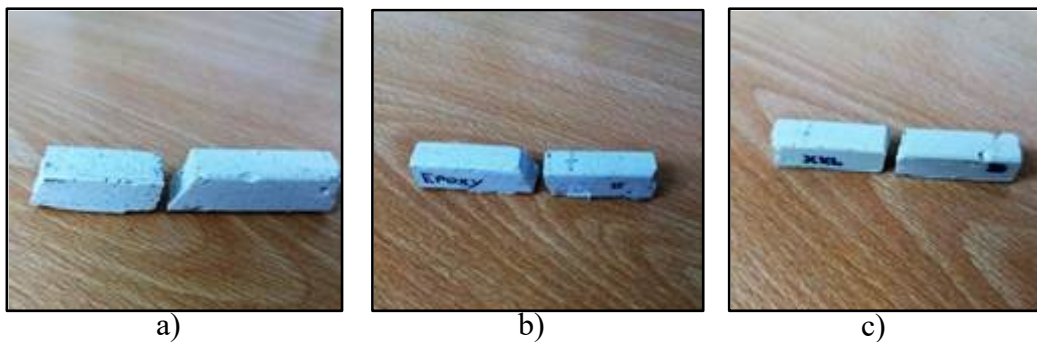


Figura 63 – Ensaio de impacto: a) Argamassa cimentícia, b) Argamassa de epóxi, c) Argamassa PU bi-componente

privilegiado no critério de seleção. Por exemplo, na aplicação de cerâmicos num pavimento sujeito a muitos movimentos de vibração que exigem que os materiais sejam capazes de libertar energia.

Por outro lado, o próprio ensaio confirma o comportamento mais frágil do produto cimentício já revelada anteriormente no ensaio de tração indicado na figura 59. Neste mesmo sentido, apenas não se explica ou coaduna a relação para o produto de base epóxi.

6.1.7 Síntese de resultados

Tabela 17 – Resumo dos resultados para as argamassas cola

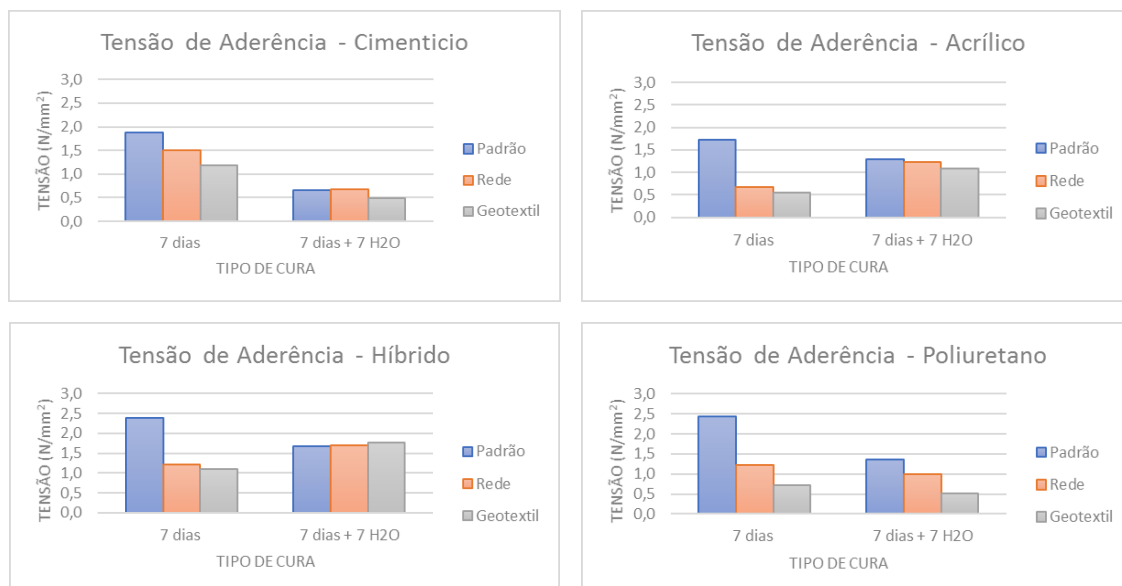
Propriedade	Aderência por tração	Deformação transversal	Tração pura	Corte	Dureza	Impacto	Notas sobre utilização
Significado das propriedades	Avalia compatibilidade entre os materiais e as superfícies	Avalia o grau de ductilidade do material	Avalia o grau de ductilidade do material	Avalia compatibilidade entre os materiais e as superfícies	Avaliação da resistência em condições de abrasão	Avalia o grau de ductilidade do material	–
Cimentício	Algumas limitações em imersão	Deformação limitada	Baixa	Resistência aceitável	Boa resistência	Frágil	Dúvidas em solicitações de vibração
Epóxi	O melhor comportamento para todas as condições	Deformável	Maior tração e módulo de elasticidade	O mais resistente	Boa resistência	O mais frágil	A melhor aderência; dúvidas em solicitações de vibração
PU bi - componente	Limitações em condições de calor e imersão	Muito deformável	Tração e módulo de elasticidade baixo	Resistência aceitável	Média resistência	O mais dúctil	Adequado para solicitações que exigem vibrações, dúvidas em aplicações exteriores
PU monocomponente	Baixa em todas as condições	Muito deformável, não oferece resistência o que limita aplicações na vertical	Tração razoável, baixo módulo de elasticidade	Resistência baixa	Baixa resistência	Não representável	Material não adequado para colagem

6.2 Caracterização das Argamassas de Impermeabilização

6.2.1 Avaliação da tensão de aderência

A avaliação da tensão de aderência das argamassas de impermeabilização em estudo, cimentícia, acrílica, poliuretano e híbrido foi realizada com 3 variantes. Uma apenas com o produto, outra com a aplicação de rede em fibra de vidro (4x4mm) na argamassa cimentícia e (2x2mm) nas restantes e outra com geotêxtil (60g/m²). As amostras foram, tal como as argamassas de colagem, sujeitas a diferentes condições de cura.

Nos gráficos seguintes são apresentados os valores obtidos aos ensaios de tração.



Como se pode observar, os resultados com os diferentes agentes de reforço, tem uma variação considerável. Quando não se utilizou qualquer reforço, os resultados de aderência foram superiores comparativamente às membranas reforçadas, quando sujeitas a cura padrão. É também de notar que o reforço com rede, apresenta melhor desempenho que o geotêxtil.

A diminuição de tensão de aderência deve-se a facto de existir uma descontinuidade entre duas camadas do produto, o que não acontece quando não é reforçada. Adicionalmente, na aplicação do poliuretano sobre o geotêxtil, este corroeu o mesmo, provocando a sua degradação por dissolução por efeito de solvente.

Em

Figura 64 – Tensões de aderências das membranas de impermeabilização

condições de cura normal, a membrana de poliuretano é a que apresenta melhor desempenho de aderência, seguindo-se a híbrida, a cimentícia e por fim a acrílica. Quando sujeitas à ação da água a aderência diminui substancialmente o valor das aderências em todas as composições testadas. A variação entre os diferentes reforços não é tão acentuada, apenas no poliuretano se assiste uma diferença considerável no reforço com o geotêxtil, devendo-se à degradação que o poliuretano exerce sobre o produto.

A membrana híbrida apresenta melhor desempenho quando submetida à imersão e a cimentícia é a que apresenta pior desempenho. Tal como para as argamassas-cola, admite-se alguma degradação da parte orgânica por hidrólise.

Tabela

Ruturas

de

Ruturas		7 dias	7 dias +7 dias H ₂ O
Cimentício	Padrão	80% CFA 20%AFT	100% CFA
	Rede	100%CFA	100% CFA
	Geotêxtil	CFA pelo geotêxtil	CFA pelo geotêxtil
Acrílico	Padrão	100% CFA	100% AFT
	Rede	CFA pela rede	85%CFA 15%AFT
	Geotêxtil	CFA pelo geotêxtil	80%CFA 20%AFT
Híbrido	Padrão	40% AFS 60%CFS	100% AFS
	Rede	CFA pela rede	AFS pela rede
	Geotêxtil	CFA pela rede	75%CFA 25%AFT
Poliuretano	Padrão	10%CFS 90%CFA	100%AFS
	Rede	100% AFS	100% AFS
	Geotêxtil	100% AFS	85%CFS 15%AFS

impermeabilização

18 -

das
membranas

Nas figuras seguintes, são apresentadas as ruturas das composições com poliuretano, quando sujeitas à imersão. Ao contrário dos outros produtos, a sua rutura foi adesiva entre a membrana e substrato.

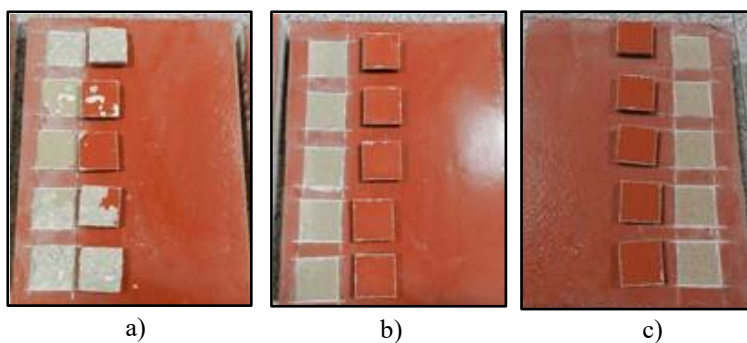


Figura 65 - Rutura das membranas: a) Padrão, b) Rede, c) Geotêxtil

Face aos resultados apresentados e porque se considera que um valor de aderência mínimo é $0,5 \text{ N/mm}^2$ aceitável pelas normas, admite-se que todas as argamassas apresentas são de possível utilização face aos efeitos pretendidos. Ainda assim, a argamassa cimentícia apresenta um desempenho menor.

6.2.2 Comportamento à tração

Com o intuito de perceber a reação das membranas quando sujeitas a diferentes forças de tração, submeteu-se os corpos de prova a velocidades e formas variáveis. Comparou-se as quatro membranas em estudo, utilizando o método interno bem como uma adaptação da norma ASTM D624 com duas tipologias diferentes (type C e CP).

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração, são apresentados nas figuras seguintes, onde se apresenta as tensões e alongamentos máximos que nem sempre equivalem à rotura do material.

Cimentício



Figura 66 - Tração membrana cimentícia: metodologia interna e ASTM (type C e CP)

Acrílico



Figura 67 - Tração membrana Acrílico: metodologia interna e ASTM (type C e CP)

Híbrido



Figura 68 - Tração membrana Híbrido: metodologia interna e ASTM (type C e CP)

Poliuretano



Figura 69 - Tração membrana poliuretano: metodologia interna e ASTM (type C e CP)

No

decorrer deste ensaio de tração padrão, à exceção da membrana cimentícia, a rotura à tração ocorreu na extremidade em contacto com o fixador do equipamento, o que implica alguma prudência nas conclusões a retirar sobre os resultados obtidos.

Já com o formato do provete da ASTM D624 tipo C, é criada uma zona de maior tensão a meio do provete, que promove a sua rutura. O mesmo acontece com o provete tipo CP, que promove o rasgamento do produto pelo que se pode assumir estes resultados como mais próximos do comportamento real do produto. Também se pode concluir claramente que esta metodologia constitui um processo mais capaz de evidenciar o grau

de fragilidade dos materiais para efeitos de comparação. Por isso, será dada preferência à comparação dos materiais segundo este método, em especial, o tipo C.

Assim, a membrana de poliuretano apresenta uma maior resistência, tendo também elevados valores de alongamento. Já a membrana acrílica, apresenta os valores mais baixos a nível do limite de resistência à tração, mas é o material com maior alongamento.

Com base no diagrama tensão-deformação obtido pelo ensaio, obteve-se o valor do módulo de elasticidade dos materiais, que se apresenta nos gráficos seguintes:

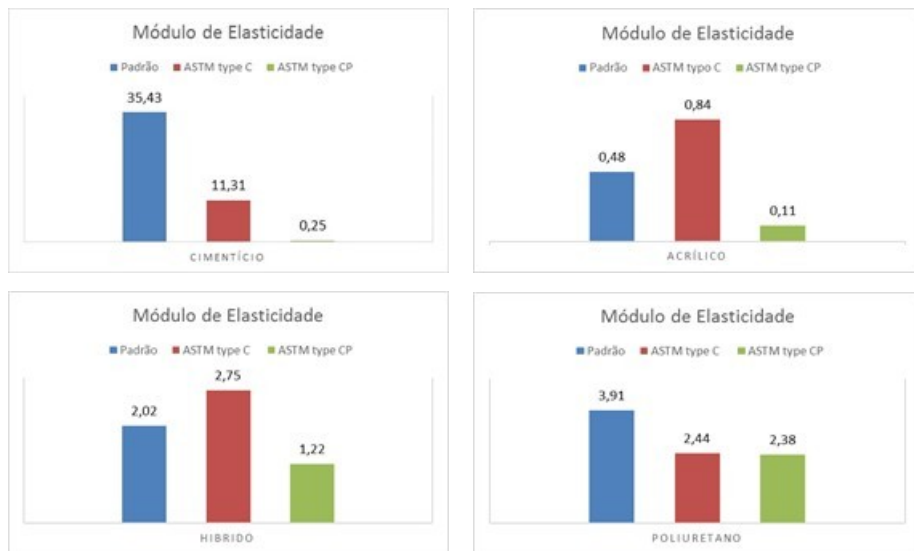
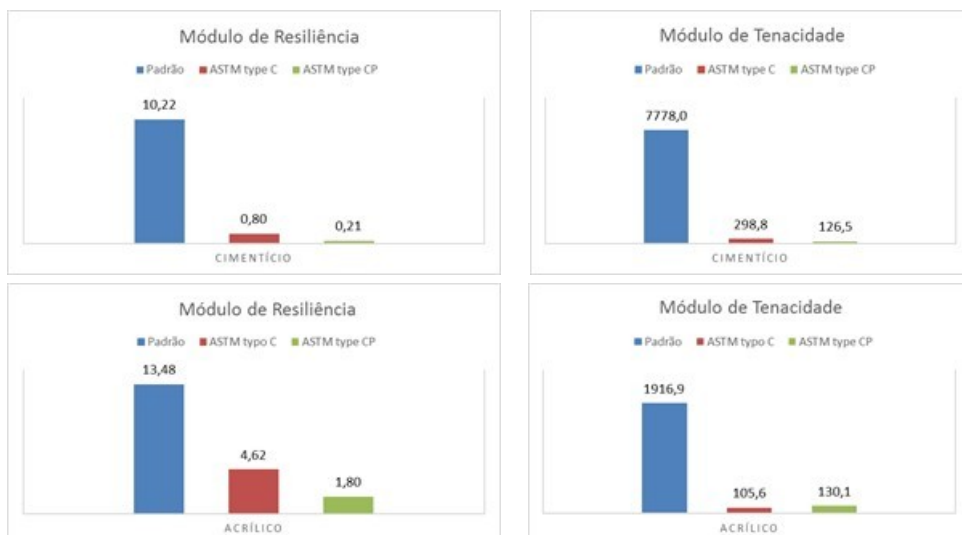


Figura 70 - Tração membranas: Módulo de Elasticidade

A membrana de base cimentícia apresenta maior capacidade suportar a carga aplicada sem sofrer deformação, seguindo-se o poliuretano, o acrílico e o híbrido.

Ainda foi possível analisar outros comportamentos mecânicos através dos ensaios de tração, neste caso, estudou-se o módulo de resiliência e o módulo de tenacidade, através dos cálculos supramencionados. Os valores obtidos são apresentados nos gráficos seguintes.



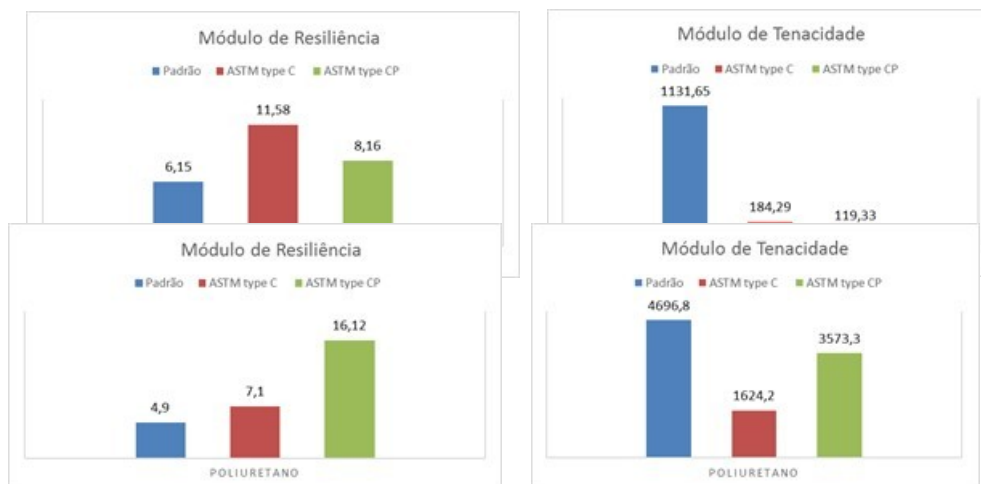


Figura 71 – Ensaio de tração: Módulo de resiliência e tenacidade

Dos resultados apresentados, a nível comparativo, realça-se o comportamento do poliuretano que apresenta simultaneamente, módulos de resiliência e tenacidade elevados, evidenciando tratar-se de um material com uma relação mais otimizada entre o valor de tração e do alongamento, seja na fase elástica, seja na fase plástica.

Ao contrário, por exemplo, a argamassa de híbrido, apresenta comparativamente um módulo de resiliência elevado, mas um módulo de tenacidade menor, o que sugere que o comportamento mecânico é, sobretudo, consequência da fase elástica da curva tensão/deformação.

O produto acrílico apresenta módulos relativamente baixos para os dois casos, sobretudo, como consequência de tensões menores, ainda assim, compensadas por alongamentos elevados. A argamassa cimentícia apresenta a situação inversa, isto é, alongamentos pequenos e uma tensão mais elevada.

Face ao apresentado, admite-se o produto de base solvente como o mais adequado ao nível do comportamento mecânico e de resistência de materiais sem fratura, particularmente quando submetido a esforços de tração. Considerando o tipo C como modelo, é ainda admissível que este comportamento seja extensível a situações de esforços normais ao plano de tração.

A figura 72 realça os resultados para a metodologia ASTM tipo C.

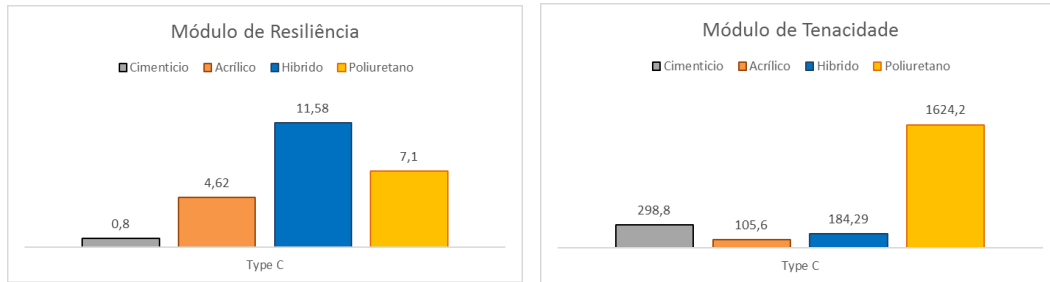


Figura 72 - Type C: Módulo de resiliência e de tenacidade

6.2.3 Resistência à torção

Efetou-se um teste de torção combinada em vários tipos de telas utilizando a máquina Shimadzu® Autograph com o objetivo de investigar o modelo de dano levando o provete até à sua inutilização total, semelhante ao movimento do rasgar de um tecido ou tela. Optou-se também por submeter os provetes a um pré-corte com um intuito de “guiar” o rasgamento das telas. Os ensaios foram ainda realizados com e sem rede de reforço, exceto para o acrílico.

Este ensaio foi desenvolvido especialmente para este estudo, entre a SG Weber e o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. A sua interpretação é fundamentalmente teórica uma vez que não se conhece ensaios similares para se fazer uma comparação crítica.

Os testes de resistência referem-se à comparação entre o momento torsor máximo registado num ensaio e o respetivo ângulo de torção. Considera-se o momento máximo aquele a partir do qual começa a decrescer com o aumento do ângulo de torção.

O momento torsor do ensaio calcula-se multiplicando a força registada na célula de carga pelo raio do tambor de enrolamento do cabo.

Poliuretano

→ *Sem pré-corte*

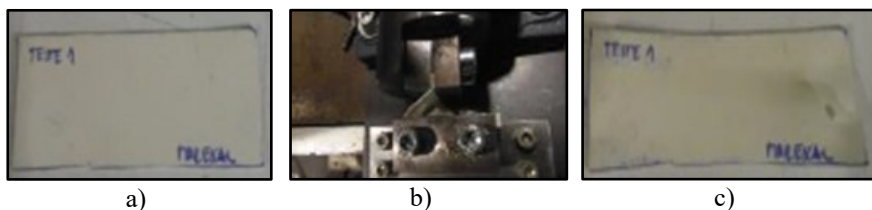


Figura 73 - Torção tela poliuretano: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

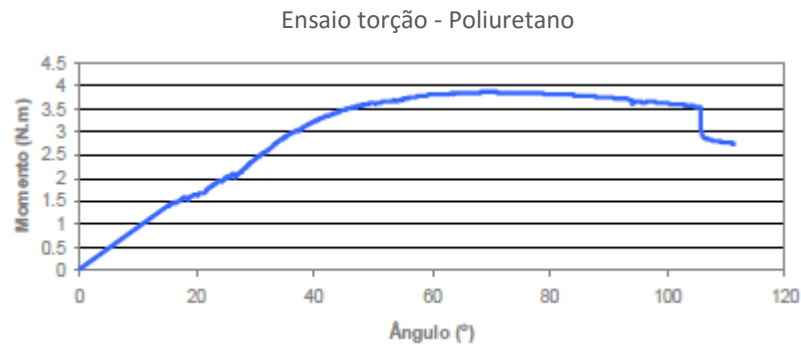


Figura 74 – Ensaio de torção: poliuretano s/ pré-corte

→ Com pré-corte

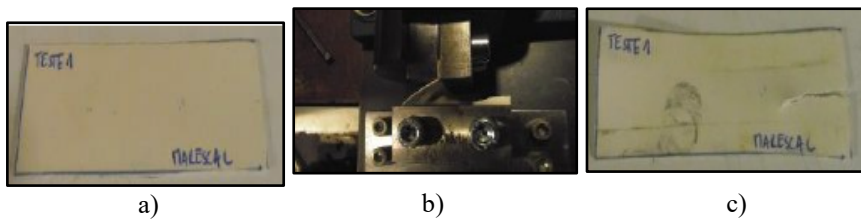


Figura 75- Torção tela solvente c/pré corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

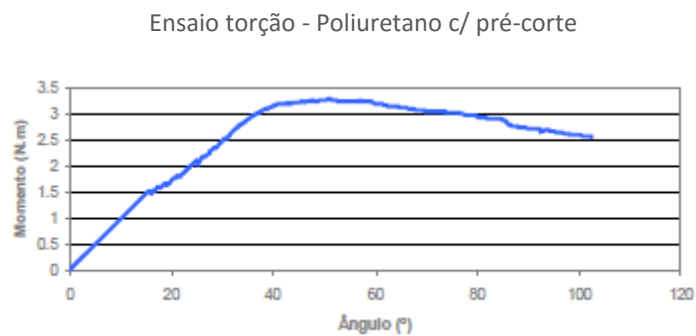


Figura 76 - Ensaio de torção: Poliuretano c/ pré-corte

→ Com rede



a) b) c)
Figura 77 - Torção tela poliuretano c/ rede: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

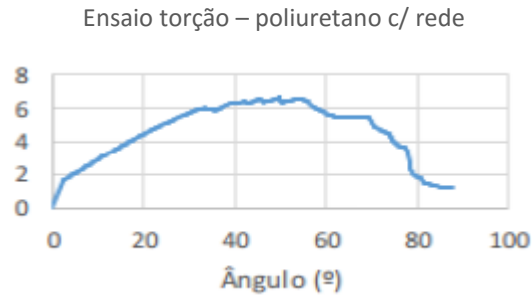


Figura 78 - Ensaio de torção: poliuretano c/ rede

→ Com rede e pré-corte

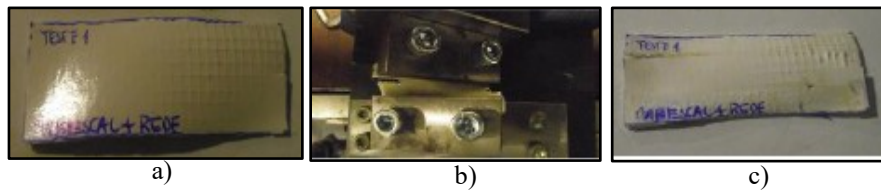


Figura 79 - Torção tela solvente c/ rede e pré corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio



Figura 80 - Ensaio de torção: solvente c/ rede e pré-corte

Nos ensaios à membrana de poliuretano sem o pré-corte, o perfil de rotura é caracterizado pelo rasgamento nos bordos do material na zona de fixação à maxila.

Quando sujeita a corte direto, o primeiro na zona de rasgamento foi pelo pré-corte seguido pelas amarras da máquina.

Quando aplicada com o reforço, o seu momento torsor aumenta, diminuindo o ângulo de torção.

Acrílico

→ Sem pré-corte

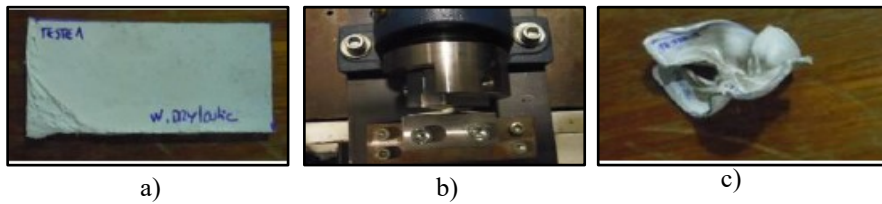


Figura 81 - Torção tela Acrílico: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

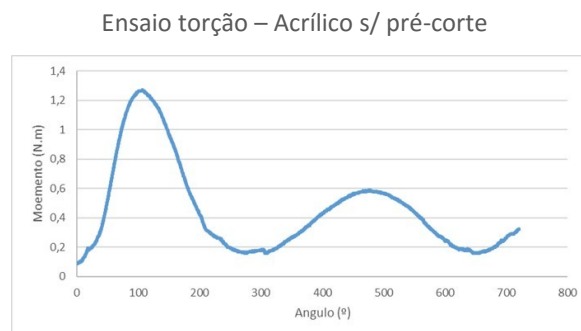


Figura 82 - Ensaio de torção: Acrílico s/ pré-corte

→ Com pré-corte

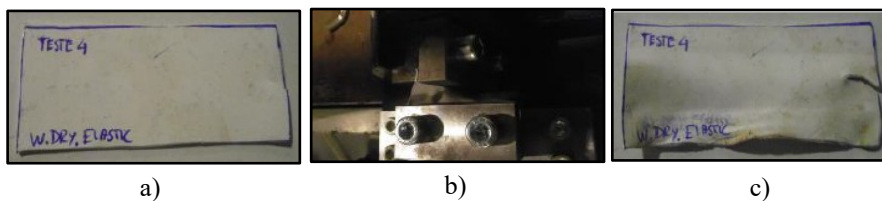


Figura 83 - Torção tela Acrílico c/ pré corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

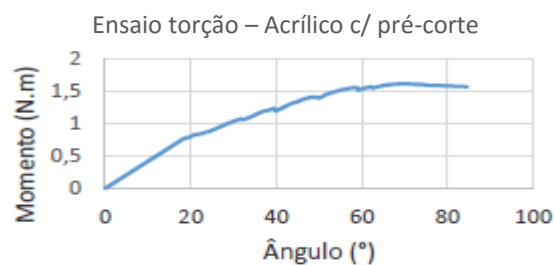


Figura 84 - Ensaio de torção: Acrílico c/ pré corte

Relativamente à membrana de base acrílica, esta sofreu uma torção de grande ângulo sem que o material apresenta qualquer rasgamento, ou seja, teve um comportamento híper- elástico. Já com o pré-corte, a membrana rasgou pelo corte.

Híbrido

→ *Sem pré-corte*

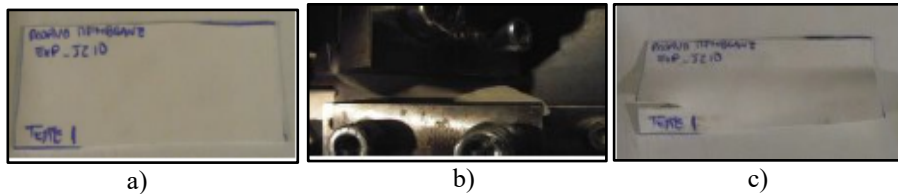


Figura 85 - Torção tela de Híbrido: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

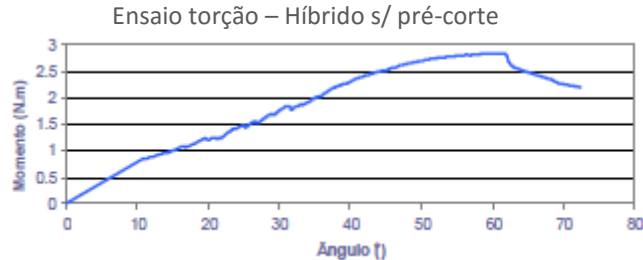


Figura 86 - Ensaio de torção: Híbrido s/ pré-corte

→ *Com pré-corte*

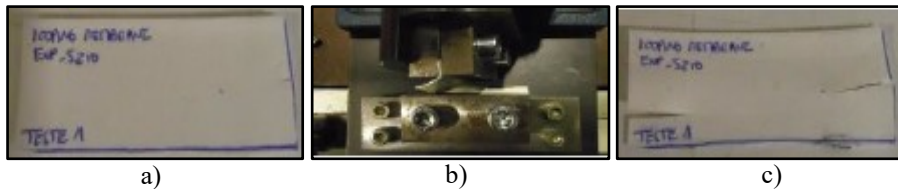


Figura 87 - Torção tela de Híbrido c/ pré-corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

Ensaio torção – Híbrido c/ pré-corte

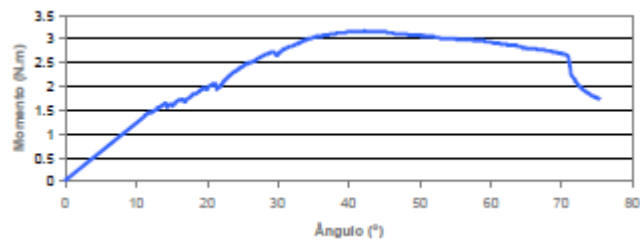


Figura 88 - Ensaio de torção: Híbrido c/ pré-corte



→ Com rede

a)

b)

c)

Figura 89 - Torção tela de Híbrido c/ rede: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

Ensaio torção – Híbrido com rede

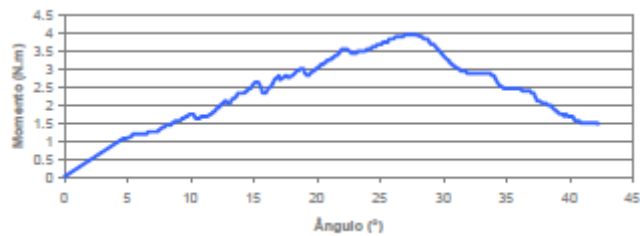


Figura 90 - Ensaio de torção: Híbrido c/ rede

→ Com rede e pré-corte



a) b) c)
Figura 91 - Torção tela de Híbrido c/ rede e pré-corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio



Figura 92 - Ensaio de torção: Híbrido c/ rede e pré-corte

Tal como nos ensaios anteriores, a primeira zona a rasgar foi nas amarras da máquina, quando não sofre pré-corte. Nas restantes amostras, o rasgamento inicia-se na zona de pré corte, seguindo-se pelas amarras da máquina. O momento torsor é superior quando a membrana é reforçada e o ângulo de torção maior quando não é aplicado nenhum reforço.

Cimentício

→ *Sem pré-corte*

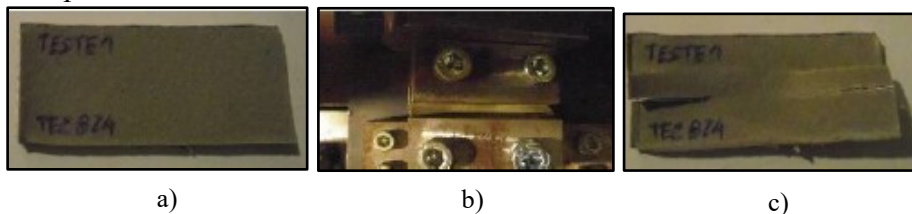


Figura 93 - Torção tela Cimentícia s/ pré-corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio



Figura 94 - Ensaio de torção: Cimentício s/ pré-corte

→ *Com pré-corte*

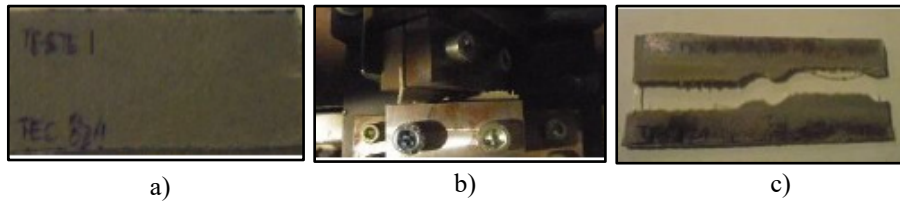


Figura 95 - Torção tela Cimentícia s/ pré-corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

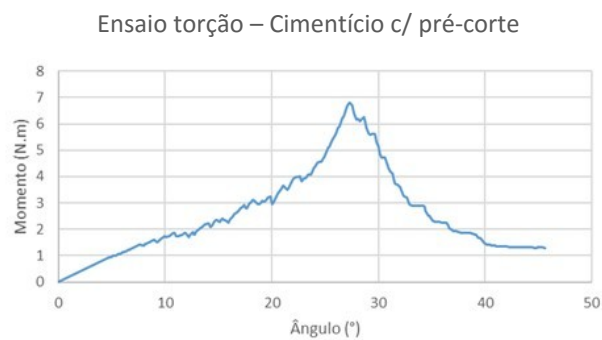


Figura 96 - Ensaio de torção: Cimentício c/ pré-corte

→ *Com rede*

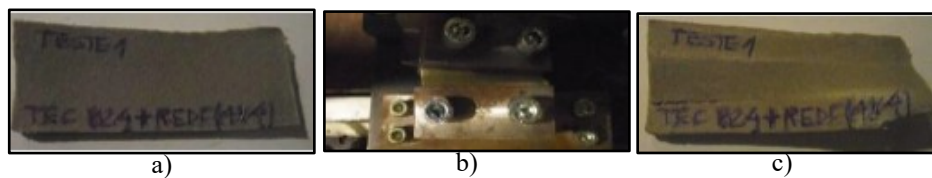


Figura 97 - Torção tela Cimentícia c/ rede: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio

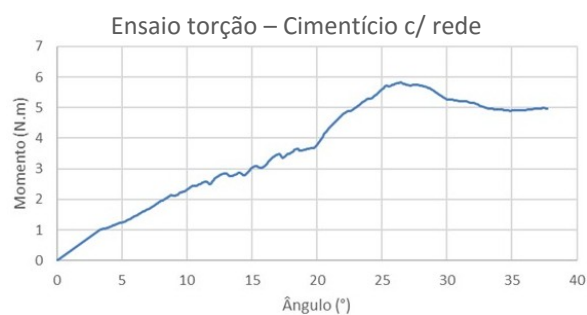


Figura 98 - Ensaio de torção: Cimentício c/ rede

→ Com rede e pré-corte

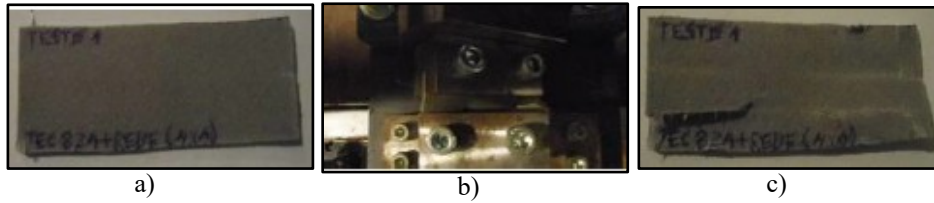


Figura 99 - Torção tela Cimentícia c/ rede e pré-corte: a) antes do ensaio, b) em ensaio, c) após o ensaio



Figura 100 - Ensaio de torção: Cimentício c/ rede e pré-corte

Nas amostras de membrana cimentícia a primeira zona a rasgar foi nas amarras da máquina. Já nas restantes, o rasgamento inicia-se na zona de pré corte, seguindo-se pelas amarras da máquina. O momento torsor é idêntico nas diferentes amostras, sendo ligeiramente superior quando é aplicado o reforço.

As figuras 101 e 102 resumem os resultados obtidos s/ pré corte.

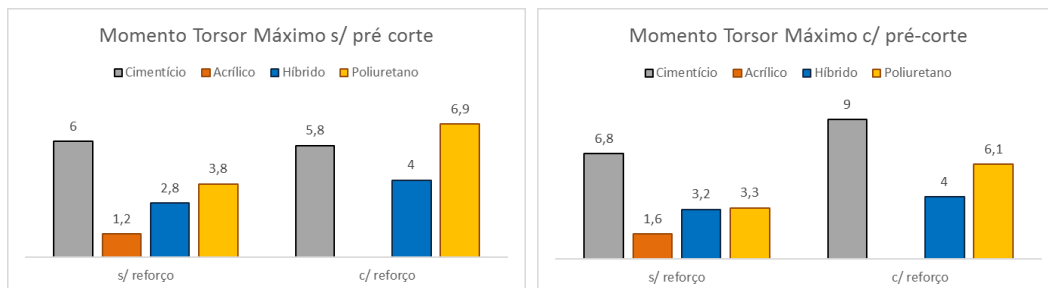
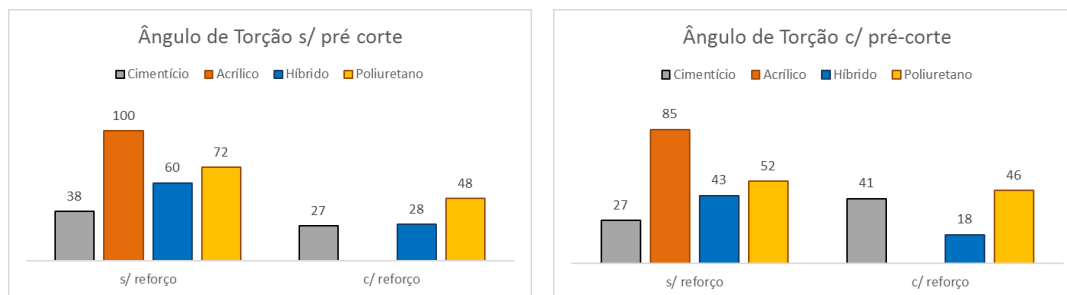


Figura 101 - Momento torsor máximo



Com exceção do cimento s/ pré corte, o momento torsor aumenta com o reforço dos materiais. Por outro lado, o ângulo de torção decresce para todos os casos, conforme seria de esperar. Sem utilização de reforços, verifica-se que todos os produtos de base orgânica apresentam facilidade de rotação. Por outro lado, com aplicação de reforço, todos apresentam ângulos de torção similares indicando que possam ser as redes o fator decisivo para o comportamento do sistema

6.2.4 Avaliação da Dureza

Para o ensaio de Dureza nas argamassas de impermeabilização, utilizou-se o Shore A e testou-se 5 amostras de cada produto, sendo que, para cada uma delas, se realizou 5 picagens. Os resultados obtidos encontram-se na figura seguinte.

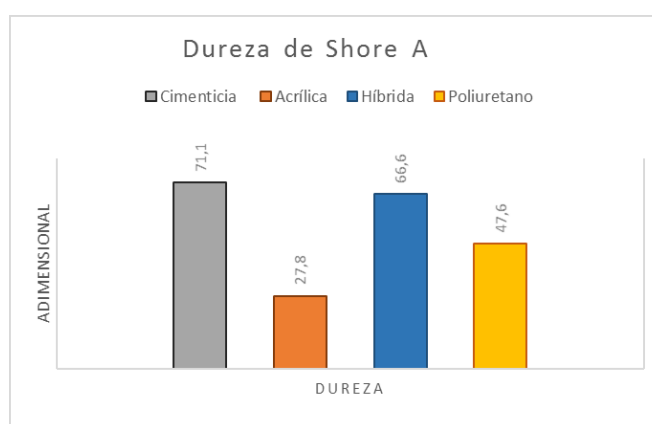


Figura 103 – Medidas da dureza de Shore A

Analisando os valores obtidos, é possível concluir que a argamassa de base cimentícia apresenta valores superiores de dureza, seguindo-se a híbrida, a de poliuretano e por fim a acrílica.

Novamente, este ensaio parece ser pouco representativo face à sua relação com a aplicação real. Ainda assim, admite-se que os resultados que apresentam maior dureza

resistam melhor a esforços por abrasão o que é relevante se forem consideradas utilizações em pavimentos e onde os produtos fiquem expostos a tráfego.

6.2.5 Síntese de resultados

Tabela 19- Resumo dos resultados para as argamassas de impermeabilização

Propriedade	Aderência por tração	Tração tipo C	Torção	Dureza	notas sobre utilização
Significado das propriedades	Avaliação da compatibilidade com a superfície onde é aplicado	Avaliação da resistência geral do material em condições de tração	Avaliação da resistência	Avaliação da resistência em condições de abrasão, como tráfego	–
Cimentício	Comportamento razoável	Resiliência e tenacidade baixos	Comportamento fraco s/ rede, c/rede similar com as restantes	Boa resistência	Pouca resistência em caso de fissuração do suporte
Acrílico	Bom comportamento, razoável em imersão	Resiliência aceitável, baixa tenacidade	Bom comportamento c/ ou s/ rede	Baixa resistência	Menos adequado em condições de tráfego intenso
Híbrido	Bom comportamento, razoável em imersão	Elevada resiliência mas menor tenacidade	Bom comportamento c/ ou s/ rede	Boa resistência	Comportamento razoável em caso de fissuração do suporte
Poliuretano	Bom comportamento, razoável em imersão	Elevada resiliência e tenacidade	Bom comportamento c/ ou s/ rede	Resistência média	Melhor opção em caso de fissuração do suporte

Capítulo 7

Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros

7. Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros

Face aos constantes desafios a que as argamassas de colagem e de impermeabilização estão sujeitas, tanto a nível de fixação, deformação e capacidade de resistir a diferentes amplitudes térmicas, é colocada muitas vezes em questão a sua capacidade de resistência real. Neste contexto, a discussão conduz a incertezas sobre a correta metodologia de avaliação e quais as propriedades de caracterização que permitem avaliar melhor as exigências em causa.

Com recurso a diferentes metodologias experimentais, tanto normalizadas como normas internas adotadas pela empresa, foi possível identificar diferentes níveis de comportamentos das argamassas em estudo.

Relativamente as argamassas-cola, assumindo o valor de aderência por tração perpendicular, verifica-se que as argamassas de base epóxi são as que apresentam melhor desempenho, seguindo-se a cimentícia, a de poliuretano bi-componente e por fim a de poliuretano monocomponente.

Comparando os resultados obtidos pela tração pura com os resultados da aderência por tração perpendicular não existe concordância entre eles. Isto, deve-se ao facto de no ensaio de tração perpendicular, a argamassa estar colada a outros materiais, o que por sua vez não demonstra a sua real resistência à tração, visto que muitas vezes a rotura se deu na interfase com o cerâmico (AFT) ou até mesmo pelo suporte (CFS).

É ainda possível verificar, tal como seria teoricamente esperado, que o valor do módulo de elasticidade obtido através dos ensaios de deformação transversal, tem uma relação direta com dureza das argamassas. Quanto maior a dureza da argamassa, maior o seu módulo de elasticidade.

Quando ao ensaio de corte, verifica-se que os resultados são superiores aos ensaios de aderência e de tração pura. Mesmo assim, a tendência é similar e o epóxi continua a ser a argamassa com um melhor desempenho.

O ensaio de impacto, confirma que a argamassa de base cimentícia é a que apresenta maior fragilidade, ao contrário, a de poliuretano bi-componente é a que se melhor adequa a solicitações de vibração, pois absorve menos energia.

Face aos resultados obtidos, admitem-se comportamentos similares nos diferentes ensaios, pelo que se pode considerar o ensaio de tração perpendicular o mais

representativo do desempenho real das argamassas-cola, uma vez que permite avaliar a compatibilidade entre as interfaces do material e das superfícies a fixar.

Para as argamassas de impermeabilização, a argamassa de base de poliuretano é a que apresenta melhor desempenho em todos os ensaios a que foi submetida. No ensaio de aderência por tração perpendicular, todas as argamassas apresentam valores superior ao mínimo exigido pela norma. Também é possível verificar que a variação dos resultados entre os dois reforços é mínima.

Quanto aos ensaios de tração pura, a nível comparativo, o poliuretano que apresenta um melhor desempenho visto que os módulos de resiliência e tenacidade são elevados, demonstrando tratar-se de um material com uma relação mais otimizada entre o valor de tração e do alongamento.

Ao contrário, por exemplo, a argamassa de híbrido, apresenta comparativamente um módulo de resiliência elevado, mas um módulo de tenacidade menor, o que sugere que o comportamento mecânico é, sobretudo, consequência da fase elástica da curva tensão/deformação. Admite-se o produto de base de poliuretano é o mais adequado ao nível do comportamento mecânico e de resistência de materiais sem fratura.

Relativamente ao ensaio de torção, à exceção da argamassa de base cimentícia, o momento torsor aumenta com o reforço e o ângulo de torção diminui. Verifica-se também que todos os produtos de base orgânica apresentam facilidade de rotação.

Face aos resultados obtidos, o ensaio de tração pela metodologia ASTM D624 tipo C, é o que apresenta resultados mais próximos do comportamento real do produto uma vez que é criada uma zona de maior tensão a meio do provete, que promove a sua rutura.

Esta metodologia constitui, portanto, um processo mais real de determinar o grau de fragilidade dos materiais.

Como proposta de trabalhos futuros, é importante estudar uma proposta de cooperação entre as diferentes metodologias, tanto europeias como americanas, uma vez que as conclusões retiradas dos ensaios são diferentes. Esta relação é particularmente importante para as argamassas-cola já que as metodologias seguem princípios diferente e, como tal, conduzirão sempre a conclusões distintas para a mesma questão técnica. Relativamente às argamassas de impermeabilização, sugere-se um estudo mais profundo sobre a metodologia ASTM D624, tipo C, uma vez que se apresenta como a

capaz de mais diferenciar materiais e implica maior proximidade às condições de utilização real.

Referências bibliográficas

Referências Bibliografia

Almeida, A., & Sichieri, E. (2006). *Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato*, Cerâmica 52, Brasil, 174–179.

Alvarez, J., Martingança, S., & Costa, M. (2005). *Ensinaamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas Resumo*, APFAC: 1º congresso Nacional de Argamassas de Construção.

ASTM D2240:2015 - *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness*.

ASTM D624:2012 - *Standard test method for tear strength of conventional vulcanized rubber and Thermoplastic Elastomers*.

Beer, F., & Johnston, R. (2009). *Beer & Johnston – Resistência dos Materiais - 3a edição*, Pearson Makron, Brasil.

Buffoni, Salete (2006). *Propriedades Mecânicas dos Materiais*.

CEN European Committee for Standardisation. (2008). *EN 12003 - Determination of shear adhesive strenght of reaction resin adhesives*.

CEN, European Committee for Standardisation. (2014). NP EN 12004:2007+A1- *Colas para ladrilhos-Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação*.

CEN, European Committee for Standardisation. (2015). NP 14891 - *Produtos impermeáveis a água para aplicação na forma líquida sob ladrilhos cerâmicos colados*.

CEN, European Committee for Standardisation.(2007). EN 1348 - *Adhesives for tiles. Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives*

CEN, European Committee for Standardisation.(2012). *Polymermodifiede bituminøse tætte belægninger til fugtisolering – Definitioner og krav waterproofing – Definitions and requirements.*

Costa, L. (2008). *O Uso De Argamassas Tradicionais E Pré-Doseadas para impermeabilização em revestimentos exteriores, dissertação de mestrado*, Universidade de Trás-os-Montes.

Davim, P. (1998). *Tecnologia dos materiais plásticos*, 1º edição.

DUARTE, A. S. (2006). *Redemat – Ufop – Cetec..*

Elastomers, T. (2010). *Test Method Tech Note Rubber.*

Esgalhado, H., & Rocha, A. (2002). *Materiais plásticos para a construção civil.*

Fredel, M., Ortega, P., & Basto, E. (2015). *Propriedades Mecânicas: Ensaio Fundamentais - Vol. 1, 1–145.*

Freitas, V. P., Sousa, A. V. S., & Silva, J. A. R. M. (2003). *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*. Coimbra.

Hibbeler, R. C. (2010). *Resistência dos Materiais*, 659.

ISO/TC 189/WG 9N (2014). *Low modulus adhesives for exterior tiles finishing.*

Martins, A., (2008). *Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco*, Dissertação de Mestrado, Universidade técnica de Lisboa.

Martins, B. (2003). 260 *Enteca* 2003, 260–271.

Materiais, N. D. O. S. (2011). *1- Tipos De Esforços*, 1–41.

Motzet, H., Hilgenbrink, B., & Meinert, F. (2013). *Waterproofing membranes beneath ceramic tiles - inovation beats bureaucracy.*

Oliveira Pinho, C. V. (2012). *Argamassas de colagem para superfícies de aderência difícil*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Paulo, R. (2006). *Caracterização de Argamassas Industriais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

PICCHI. (1986). *Impermeabilização de coberturas.*

Ribeiro, R., Vieira, N., & Silva, L. (2007). *Influência da Adição de Polímeros nas Propriedades de uma Argamassa de Reabilitação*. APFAC, 2 o Congresso Nacional de Argamassas de Construção.

Saint Gobain - Weber (2016). *O Guia Weber.*

Santos, H. B. Dos. (2008). *Ensaio de aderência das argamassas de revestimento, 1–50.*

Severo, J. (2013). *EN 12004 Colas D de Dispersão Aquosa Cola em dispersão aquosa.*

Silva, L., Colin, G., Gobain, S., & Abrantes, L. (2005). *Avaliação da repetibilidade e reprodutibilidade dos ensaios referentes à norma EN12004 para cimentos-cola*, APFAC: 1º congresso Nacional de Argamassas de Construção.

Silva, O. (2008). *Desenvolvimento de métodos expeditos de caracterização de argamassas de construção de um fabricante do mercado português*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Souza, Sérgio. (2000). *Ensaaios mecânicos de Materiais Metálicos. Fundamentos teóricos e práticos.*